

23 de abril de 2024

SENADO DE PUERTO RICO
OFICINA DEL SECRETARIO
23 ABR 2024 PM 4:07
SENADO DE PUERTO RICO
OFICINA DEL SECRETARIO

Honorable Edgardo Feliciano Sánchez
Presidente
Comisión Conjunta sobre Mitigación,
Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático
Asamblea Legislativa de PR
Cámara de Representante
San Juan, PR 00902-2228

A LA MANO

Estimado Presidente:

**ENTREGA DEL BORRADOR FINAL DEL PLAN DE MITIGACIÓN, ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO DE PUERTO RICO**

El Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC), cumpliendo con los deberes y facultades por mandato en sus Artículos 7, 8 y 9 de la Ley 33-2019, hace entrega de la copia impresa y digital del borrador final del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (P-MARCC) a la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa de Puerto Rico, con el fin de continuar con los próximos pasos establecidos por Ley para su aprobación.

El CEACC celebró vistas públicas durante los meses de noviembre y diciembre de 2023, en diferentes puntos de la isla como: Humacao, Ponce, Mayagüez y Carolina y a manera virtual, que promovieron espacios de mayor participación cuidadana sobre el borrador P-MARCC. Este proceso nutrió los esfuerzos del CEACC para incorporar recomendaciones al documento previo a esta oficial entrega a la Asamblea Legislativa.

Cordialmente,

Ing.Carl Axel Sodeberg
Secretario
Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático

# Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico

Tomo 1









# Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico

Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC)
Gobierno de Puerto Rico
Versión revisada - abril de 2024

Cite este documento de la siguiente manera:

Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC). 2024. *Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico. Gobierno de Puerto Rico.*






# Tabla de contenido


El Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático: herramienta novel, participativa y comprensiva para Puerto Rico ..... 7

Una herramienta novel ..... 7

Fruto de la participación ..... 8

Visión comprensiva ..... 8

Los cursos de acción (COA, por las siglas en inglés) ..... 8

Estructura del Plan ..... 9

Próximos pasos ..... 11

Introducción ..... 12

Propósito, misión, visión y objetivos del Plan ..... 13

Propósito ..... 13

Misión ..... 13

Visión ..... 14

Objetivos ..... 14

Sectores que se incluyen en el Plan ..... 15

CAPÍTULO 1.
Marco legal ..... 16

1.1. La Ley 33 del 2019 y el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico ..... 16

1.2. El Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático y el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático ..... 21

1.3. La comisión conjunta de la legislatura sobre cambio climático ..... 21

1.3.1. Aval de la legislatura ..... 22

1.4. Leyes y reglamentos federales específicos sobre el cambio climático luego de la aprobación de la Ley 33 del 2019 ..... 22

CAPÍTULO 2.
Marco conceptual ..... 25

2.1. Proceso de planificación del Plan ..... 25

2.2. Marco conceptual de la mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático ..... 27

2.2.1. Mitigación, adaptación y resiliencia: Criterios estratégicos para la elaboración del Plan ..... 27

2.3. Proceso del desarrollo del Plan ..... 29

2.3.1. Metodología del Plan ..... 30
2.1. Plan multisectorial y multiconceptual (según especificado en la Ley 33-2019) ..... 32
2.5. Percepción y divulgación sobre el cambio climático ..... 35
2.5.1. El CEACC en la comunidad ..... 37
2.6. Participación pública: la participación ciudadana y de los sectores interesados como parte esencial del desarrollo del Plan ..... 38
2.7. Justicia climática ..... 41

CAPÍTULO 3.

Emisiones de gases de efecto de invernadero y la situación actual de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico ..... 42
3.1. Escenarios globales: el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC) ..... 42
3.2. Escenarios climáticos en Puerto Rico ..... 47
3.3. Situación actual de las emisiones de gases de efecto de invernadero en Puerto Rico ..... 47
3.4. Manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico ..... 49
3.4.1. Temperatura atmosférica superficial ..... 50
3.4.2. Tendencias y proyecciones de precipitación ..... 54
3.4.3. Sistemas ciclónicos tropicales, extratropicales, ondas y frentes de frío ..... 62
3.4.4. Aumento del nivel del mar ..... 69
3.4.5. Aumento de acidez de los océanos ..... 70
3.4.6. Aumento de temperatura del océano ..... 71
3.4.7. Aumento de frecuencia e intensidad de episodios de polvo del Sahara ..... 72

CAPÍTULO 4.

Impacto del cambio climático en Puerto Rico ..... 74
4.1. Energía ..... 74
4.2. Infraestructuras ..... 81
4.3. Transportes y movilidad ..... 93
4.3.1. Transportación marítima ..... 94
4.3.2. Transportación aérea ..... 96
4.3.3. Transportación colectiva ..... 102

4.3.4. Vehículos eléctricos ..... 106
4.3.5. Sistema de carreteras ..... 107
4.3.6. Municipios con alta actividad económica que requieren mayor infraestructura de transportación ..... 109
4.4. Residuos sólidos ..... 110
4.4.1. Efecto de los residuos sólidos en el cambio climático en Puerto Rico ..... 110
4.4.2. Estado presente del manejo de desperdicios/residuos sólidos en Puerto Rico ..... 113
4.5. Salud y bienestar ..... 120
4.5.1. Efectos del cambio climático sobre la salud humana ..... 120
4.5.2. Determinantes sociales de la salud y cambio climático ..... 129
4.5.3. Condiciones del sistema de salud ante el cambio climático ..... 132
4.5.4. Salud mental y cambio climático ..... 132
4.6. Agricultura y ganadería ..... 133
4.6.1. Estado de la situación de la producción agrícola de Puerto Rico ..... 134
4.6.2. El clima y el efecto del cambio climático sobre l a agricultura ..... 140
4.6.3. Emisiones de GEI y el rol de la agricultura ..... 146
4.6.4. La pesca como un sistema crucial de seguridad alimentaria ..... 150
4.7. Agua ..... 152
4.7.1. Sequías ..... 153
4.7.2. Aguas subterráneas ..... 160
4.7.3. Aguas superficiales y escorrentías ..... 165
4.7.4. Manejo de los embalses y tomas de agua ..... 167
4.7.5. Pérdida de agua ..... 170
4.7.6. Alteración del ciclo hidrológico por el cambio climático ..... 171
4.8. Sistemas marinos y zonas costeras ..... 172
4.8.1. Deterioro de ecosistemas marinos y costeros: arrecifes de coral, hierbas marinas y humedales ..... 174
4.8.2. Erosión costera ..... 184
4.8.3. Inundaciones costeras ..... 186
4.9. Ecosistemas terrestres ..... 188
4.9.1. Impacto del cambio climático: Ecosistemas y biodiversidad ..... 188

4.9.2. Especies amenazadas y en peligro de extinción en Puerto Rico ..... 194
4.9.3. Hábitats críticos en Puerto Rico ..... 199
4.10. Forestación ..... 201
4.10.1. Inventario Forestal Nacional en Puerto Rico y el huracán María ..... 204
4.10.2. El ciclo de carbono en los bosques de Puerto Rico ..... 206
4.10.3. El cambio climático y los bosques de Puerto Rico ..... 208
4.11. Turismo ..... 211
4.11.1 El turismo y el cambio climático ..... 211
4.11.2. Perfil y preferencias geográficas del visitante ..... 213
4.11.3. Riesgos, amenazas y vulnerabilidades para el sistema turístico puertorriqueño ante el cambio climático ..... 215
4.11.4. El sistema turístico puertorriqueño ante el cambio climático ..... 223
4.12. Educación ..... 229
4.12.1. ¿Qué impactos ha tenido la información divulgada en Puerto Rico sobre el cambio climático en todos los sectores? ..... 232
4.12.2. Deficiencia en la divulgación sobre cambio climático en todos los sectores ..... 239
4.13. Justicia climática ..... 242
4.14. Escenarios sobre las proyecciones de aumento del nivel del mar sobre Puerto Rico (2030, 2050, 2100) y marejada ciclónica ..... 246

CAPÍTULO 5.
Análisis de diagnósticos de los sectores: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) ..... 249
Impactos ..... 299
Tensiones ..... 300

# Resumen Ejecutivo

## El Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático: herramienta novel, participativa y comprensiva para Puerto Rico

- El Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (P-MARCC) surge de la encomienda presentada en el artículo 7 de la Ley 33 del 2019, donde indica que el Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC) presentará un plan a la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa, según establecido en los artículos 8 y 9 de la Ley. El objetivo general del Plan es propiciar que Puerto Rico cree las condiciones óptimas para enfrentar y superar los efectos del cambio climático.
- El CEACC reconoce el peso histórico de esta encomienda y sus implicaciones en el desarrollo socioeconómico y el desarrollo humano del país.
- Con la ley como guía, el CEACC lideró un proceso de diseño y desarrollo de un documento vivo y dinámico que incluyera:
    - diagnósticos de la situación del país ante las manifestaciones del cambio climático con los mejores y más recientes datos disponibles (el CEACC utilizó datos divulgados hasta junio de 2023, para dar espacio al proceso de revisión final y aprobación del borrador a tiempo para someterlo a vistas públicas antes de presentarlo a la Asamblea Legislativa);
    - análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de esta situación por sector;
    - cursos de acción acompañados de estrategias para su implantación; y
    - recomendaciones que ayuden a los sectores en la toma de decisiones.

### Una herramienta novel

- El P-MARCC cruza el umbral a un terreno nuevo en materia de política pública.
    - En cuanto a proceso, se nutre de la consulta y participación ciudadana, como lo dispone la Ley 33-2019.
    - En cuanto a su marco conceptual, este es el primer plan multiconceptual en su tipo en Puerto Rico que involucra los conceptos de mitigación, adaptación y resiliencia como ejes de su desarrollo e implantación. Asimismo, añade dos perspectivas transversales muy relevantes y pertinentes a Puerto Rico y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas: la descarbonización de la generación de energía eléctrica y la descarbonización del transporte terrestre.

## Fruto de la participación

- El P-MARCC es producto del trabajo de un equipo multidisciplinario compuesto por una veintena de especialistas liderados por los expertos del CEACC.
    - La diversidad de peritajes, perfiles, trasfondos académicos y profesionales de este equipo abonó transparencia y pluralismo al trabajo.
    - Esto contribuyó también a la descentralización y neutralidad del proceso.

- Además, la participación pública como piedra angular para la confección del Plan rebasó lo que establece la Ley 33-2019. El primer documento sujeto a vistas públicas fue el borrador del bosquejo del plan, otra iniciativa novel. El proceso robusteció la estructura de este documento. Del mismo modo, el CEACC sometió el borrador del P-MARCC a vistas públicas antes de presentarlo a la consideración legislativa, aun cuando la Ley 33-2019 no lo requiere.

## Visión comprensiva

- El equipo de trabajo y de apoyo técnico utilizó una diversidad de técnicas metodológicas para recopilar y analizar la información más reciente disponible sobre el cambio climático referente a los sectores identificados en la Ley 33-2019.
- El conjunto de casi una decena de metodologías incluyó, entre otras, análisis de documentos técnicos con diferentes herramientas de búsqueda de información como, por ejemplo, inteligencia artificial, entrevistas y visitas de campo.
- La riqueza metodológica permitió diagnosticar con más certeza y fundamentó los cursos de acción que se presentan en el P-MARCC para atender los efectos del cambio climático en Puerto Rico.

## Los cursos de acción (COA, por las siglas en inglés)

- El P-MARCC presenta de forma sistemática y detallada los cursos de acción[1] que deben seguirse en cada sector identificado por la ley: energía, infraestructuras, transporte y movilidad, residuos sólidos, salud, agricultura y ganadería, agua, sistemas marinos y zonas costeras, forestación, turismo y educación. El CEACC acogió recomendaciones recibidas en las vistas públicas sobre el bosquejo del Plan para añadir los sectores de vivienda (bajo el sector de infraestructuras), ecosistemas terrestres y justicia climática. Además, el CEACC desarrolló cursos de acción para el control de emisiones de gases de efecto de invernadero.

1 Para el borrador del P-MARCC, un curso de acción es una recomendación basada en un proceso de planificación que considera qué tipos de acciones se deben tomar a través de unos objetivos y estrategias claves para lograr soluciones a un evento o situación con métricas cuantificables.

- Los COA están alineados a las guías definidas en la Ley 33-2019, así como a los mejores estándares de la planificación. Se enumeran en formato de tablas cuyos renglones se subdividen partiendo de las 71 guías establecidas en el artículo 9 de la Ley 33-2019 para los once sectores. En el transcurso de los trabajos se desarrollaron guías para fortalecer los objetivos del plan y el propósito de la ley, para un total de 76 guías.
- El formato en tabla responde a los requisitos de planificación para facilitar la comprensión y propiciar la implantación.
    - A cada guía le sigue una lista de prácticas exitosas que validan las estrategias propuestas.
    - Luego se presentan los COA con una serie de objetivos a alcanzar junto a las estrategias para lograrlos.
    - Cada COA identifica a la(s) entidad(es) responsable(s)[2].
    - Las tablas incluyen estimados de costos basado en un análisis económico de la información más reciente disponible, según el área correspondiente. No obstante, el P-MARCC establece que la entidad responsable de ejecutar las estrategias será la que determine con exactitud los costos de cada una, tomando en consideración las experiencias probadas en o fuera de Puerto Rico, previo a la fase de implantación. También se identifican fuentes potenciales de financiamiento.
    - Además, se indican los términos de tiempo para implantar las acciones, los resultados esperados y las métricas para analizar el progreso. Esta información es crucial para desarrollar los informes trienales de seguimiento y evaluación exigidos en la Ley 33-2019 (artículo 7). La información aporta también a la revisión del P-MARCC como marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos socioeconómicos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, así como para otros deberes estipulados en la Ley 33-2019.

## Estructura del Plan

El borrador del P-MARCC contiene nueve capítulos y seis anejos que complementan los diagnósticos o cursos de acción. Los primeros capítulos presentan un resumen de las disposiciones de la Ley 33-2019, los marcos y procesos utilizados para elaborar el Plan, y un análisis de los escenarios climáticos en Puerto Rico y globales. En el capítulo 4 se provee un diagnóstico para cada sector identificado en la ley, además de los tópicos de **vivienda** (bajo **infraestructuras**), **transporte aéreo** y **transporte marítimo** (bajo

2 Se resalta que, por ser este un plan estatal, las entidades responsables identificadas en este documento son parte del organigrama del Gobierno de Puerto Rico. En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores claves (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

**transportes y movilidad**) **pesca comercial** (bajo **agricultura y ganadería), ecosistemas terrestres** y **justicia climática**. El capítulo 5 presenta un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en cada sector. En los capítulos 6 y 7 se detallan los COA para mitigar el cambio climático reduciendo emisiones de gases de efecto de invernadero y para adaptar y proveer a Puerto Rico resiliencia ante sus efectos. El capítulo 8 –Adopción del Plan– es pionero en su tipo debido a que la aprobación de este documento se establece por ley. Así, lo establecido en el P-MARCC prevalecerá sobre cualquier otra disposición de ley, reglamentaria o norma, que no estuviere en armonía. Por último, el capítulo 9 presenta las conclusiones y recomendaciones del CEACC que se nutren de un proceso amplio de consulta y participación ciudadana.

**Tabla 1.**

*Descripción general de los capítulos*

| Capítulo | Descripción general | |
|---|---|---|
| **C. 1 Marco legal**<br><br>**C. 2 Marco conceptual** | Estos capítulos presentan, respectivamente, el marco legal y los parámetros conceptuales y metodológicos dentro de los cuales se desarrolló el borrador del plan. | |
| **C. 3 Emisiones de gases de invernadero y la situación actual de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico** | El capítulo presenta el diagnóstico de las emisiones de gases de efecto de invernadero y cómo se manifiesta el cambio climático en Puerto Rico. Se complementa con los posibles escenarios a nivel internacional sobre el cambio climático. | |
| **C. 4 Impacto del cambio climático en Puerto Rico** | El capítulo presenta el diagnóstico de los once sectores identificados en la Ley 33-2019 (artículo 9). En esta sección se presentan datos e información de la situación de los sectores, incluyendo vivienda, bajo el sector de infraestructuras. Se añade un diagnóstico sobre el estado de la atención a la justicia climática, un diagnóstico sobre ecosistemas terrestres y los escenarios sobre las proyecciones de aumento del nivel del mar para Puerto Rico. | Capítulos ejes del Plan |
| **C. 5 Análisis de los diagnósticos de los sectores: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)** | Este capítulo presenta los resultados de un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de los diagnósticos incluidos en el capítulo previo, desde una perspectiva de planificación. | |
| **C. 6 Cursos de acción (COA) para la mitigación de fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto de invernadero**<br><br>**C. 7 Cursos de acción (COA) para la adaptación y resiliencia ante el cambio climático por sectores** | Los capítulos 6 y 7 presentan la espina dorsal del borrador del plan. Los capítulos trazan los COA que propiciarán robustecer la preparación y respuesta de Puerto Rico ante el cambio climático. El capítulo 6 presenta los COA alineados a la mitigación de las emisiones de gases de efecto de invernadero; el capítulo 7 delinea los COA para los once sectores identificados por la ley, añadiendo los temas de justicia climática, ecosistemas terrestres y vivienda, este último bajo el sector de infraestructura. | |

| 12 sectores y mitigación de emisiones | 76 guías | 156 cursos de acción | 808 estrategias |
|---|---|---|---|

| | |
|---|---|
| **C. 8 Adopción del Plan**<br><br>**C. 9 Conclusiones y recomendaciones** | Estos capítulos exponen los procesos de adopción del Plan, según la Ley 33-2019, así como las conclusiones y recomendaciones para los responsables de elaborar la política pública y para otros sectores. |
| **Anejos** | El CEACC incluye en los anejos una serie de definiciones contenidas en la Ley y de otros términos utilizados en el borrador del plan. También se presenta un resumen de los procesos y actividades de participación pública y divulgación llevados a cabo. Además, se añaden documentos complementarios sobre educación, turismo y una guía para reforestar a Puerto Rico. |

## Próximos pasos

El proceso de planificación en torno al P-MARCC está pensado como una estrategia quinquenal de perfeccionamiento continuo: planificar, implantar lo planificado, comprobar los resultados y, por último, revisar la planificación para comenzar un nuevo ciclo. Este marco de revisión y actualización a cinco años va dirigido a ajustar el Plan a la situación del momento y a la nueva información científica disponible. El CEACC presentará a la Asamblea Legislativa un informe conjunto de seguimiento y evaluación del P-MARCC cada tres años, cónsono con los deberes que establece la Ley 33-2019 en su artículo 7.

Por esto, el CEACC subraya que el P-MARCC es un instrumento dinámico y vivo, el cual responde a las necesidades actuales, pero mirando hacia el futuro. Conforme surja información nueva que amerite incorporarla o que modifique lo planteado en el P-MARCC, este documento deberá ser revisado para ajustarlo a las exigencias del momento. El P-MARCC constituye un avance en la dirección correcta hacia la mitigación, adaptación y resiliencia de los diferentes sectores y comunidades en Puerto Rico frente al cambio climático. Confiamos en que este proceso brinde los resultados esperados de forma tangible en beneficio del pueblo de Puerto Rico.

La adopción del P-MARCC adelanta la gestión para promover el desarrollo socioeconómico, la protección de vidas y propiedad, al igual que manejar correctamente los componentes ambientales del país, reconociendo la necesidad de un balance entre las actividades relacionadas con los sectores, la vida humana y la protección del ambiente. Ayuda a satisfacer las necesidades de la sociedad, a la vez que reduce los peligros, daños o desastres a la presente generación. Asimismo, salvaguarda el derecho de las futuras generaciones a la seguridad y protección frente al cambio climático.

Este P-MARCC es más que un documento de política pública: es un llamado a la acción frente al cambio climático con iniciativas de innovación y transformación. Invita a liderar procesos que ayuden a aprender de las amenazas y debilidades para tener un Puerto Rico adaptado y resiliente frente al cambio climático.

## Introducción

El Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (P-MARCC) es el instrumento de planificación del Gobierno de Puerto Rico que indica la dirección hacia donde todos los sectores deben moverse para reducir las emisiones de los gases de efecto de invernadero y la exposición de la población a las manifestaciones del cambio climático en nuestro archipiélago. Con este Plan, el Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC) cumple la encomienda dispuesta en la Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático –Ley 33 de 2019[3]. El P-MARCC tiene un enfoque multisectorial y multiconceptual. Su implantación diligente propiciará salvaguardar vidas, infraestructura, propiedad y servicios. La Ley estableció desde su nombre, indicado en el artículo 1, los ejes estratégicos de este plan: mitigación, adaptación y resiliencia, los cuales define en el artículo 2. La sección 2.4 los explica.

El P-MARCC identifica los desafíos principales que presentan para Puerto Rico eventos como el aumento de las temperaturas, la merma en el recurso agua, la erosión costera, el aumento del nivel del mar, las olas de calor y la acidificación de los océanos, entre otros. El Plan enmarca esos desafíos en once sectores detallados en los artículos 8 y 9 de la Ley, para los cuales se proveen guías. En el ejercicio de su discreción avalada en la Ley, el CEACC añadió guías para atender los desafíos relacionados con la emisión de gases de efecto de invernadero (GEI), vivienda (bajo infraestructuras), transporte aéreo y marítimo (bajo transporte y movilidad), pesca comercial (bajo agricultura), ecosistemas terrestres y justicia climática. Con este enfoque abarcador, el P-MARCC adelanta el cumplimiento de Puerto Rico con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.

A través del desarrollo del borrador del P-MARCC se identificó una serie de necesidades críticas que requieren atención. El CEACC utilizó datos divulgados hasta junio del 2023, para dar espacio al proceso de revisión final y aprobación del documento a tiempo para someterlo a vistas públicas antes de enviarlo a la legislatura. El análisis permitió comprender mejor las causas e interrelaciones de estas necesidades para definir los cursos de acción y las estrategias dirigidas a mitigar, adaptar y crear resiliencia ante el cambio climático. Entre las áreas emergentes de atención clasificadas en impactos y tensiones están las siguientes: brotes de enfermedad y enfermedades crónicas, sequías y lluvias extremas, sistemas ciclónicos de categoría mayor, inundaciones por crecidas de ríos y quebradas, polvo del Sahara, sargazo en las playas y erosión costera. Otras áreas de atención son: la necesidad de generar espacios de cohesión educativa, la vulnerabilidad y los riesgos en las comunidades, el manejo sostenible de los residuos sólidos, infraestructura vulnerable; carreteras y puentes en peligro; y la localización de familias que residen en zonas inundables o susceptibles al aumento del nivel del mar.

El P-MARCC reconoce que la mayoría de las entidades responsables de implantar los cursos de acción tienen recursos limitados para destinar a las estrategias de mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático. Será importante proveerles mayores

[3] La Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (Ley 33 de 2019) aprobada el 22 de mayo de 2019 está vigente desde el 1 de julio del mismo año: https://bvirtualogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/2019/0033-2019.pdf.

recursos. Esta realidad se tomó en cuenta al desarrollar los cursos de acción (COA, por sus siglas en inglés). El Plan establece cómo implantarlos, identifica ejemplos de experiencias exitosas, fuentes potenciales de financiamiento, los resultados esperados y las métricas para dar seguimiento a los progresos. Este nivel de detalle debe facilitar que las agencias implanten los COA.

Con este documento, procuramos responder responsablemente a la emergencia climática, descrita por la comunidad científica internacional como una de las mayores amenazas que enfrenta la humanidad.

## Propósito, misión, visión y objetivos del Plan

### Propósito

El artículo 8 de la Ley 33 de 2019 establece el marco estratégico para este documento. Dispone que el P-MARCC determinará los objetivos de emisiones de gases de efecto de invernadero y de los contaminantes del aire por períodos y propondrá las medidas necesarias para alcanzarlos de forma planificada. El Plan delineará los indicadores cuantitativos correspondientes, para lograr medir el impacto de las acciones. La Ley 33 de 2019 ordena que esto se logre mediante la participación y concertación de los entes locales y los demás actores implicados. La Ley da a este marco estratégico, detallado sectorialmente, carácter obligatorio.

El artículo 9 de la Ley 33 de 2019 establece, además, que el P-MARCC identificará la situación del territorio ante las manifestaciones del cambio climático y los cursos de acción a seguir para reducir la exposición y vulnerabilidad de los sectores mencionados ante tales manifestaciones para hacerlos resilientes.

La Ley 33 de 2019 dispone también que el P-MARCC sea consistente con el Plan Integrado de Recursos (PIR) de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) aprobado por el Negociado de Energía de Puerto Rico[4], y con la Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico (Ley 17 de 2019)[5].

### Misión

Este plan tiene la misión de trazar las estrategias para lograr un nivel base de mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico que permita mejorar las condiciones en los sectores identificados en la ley, en un marco que propicie la protección de vida y propiedad.

4 El PIR de la AEE es un mandato de la Ley 57 de 2014: https://energia.pr.gov/ plan-integrado-de-recursos/

5 Vea el estatuto en: https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2019/05/17-2019.pdf

## Visión

Un Puerto Rico que garantice el bienestar físico, emocional, socioeconómico y ambiental de las personas y los recursos naturales, asegurando que la ciudadanía, las comunidades y el país en general estén preparados, adaptados y puedan recuperar rápidamente ante los impactos o tensiones asociadas al cambio climático.

## Objetivos

Para cumplir con la misión del P-MARCC y, de acuerdo a los objetivos de reducción de emisiones, el marco estratégico y las medidas dispuestas en la Ley 33 de 2019, se presentan los siguientes objetivos:

### Objetivo general

Propiciar que Puerto Rico cree las condiciones óptimas para enfrentar y superar las manifestaciones del cambio climático.

### Objetivos específicos

1. Desarrollar el marco legal y conceptual del Plan conforme a los lineamientos claves para su estructura e implantación establecidos en la Ley 33 de 2019.

2. Desarrollar un conjunto de diagnósticos técnicos por sector de las emisiones de GEI y de la situación actual de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico con la mejor información científica y técnica disponible. Esta información debe servir como base para generar una radiografía abarcadora de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (análisis FODA). También debe servir para delinear los cursos de acción para todas las áreas identificadas en la Ley 33 de 2019, entre estas, reducir las emisiones de GEI, transformar el sistema eléctrico a energía renovable o energía alternativa, reducir la demanda de energía eléctrica, transformar la flota vehicular gubernamental a una de vehículos eléctricos y reforestar a Puerto Rico.

3. Realizar un análisis FODA para cada sector y para mitigar las emisiones de los GEI provenientes de fuentes antropogénicas, a partir del diagnóstico, con el propósito de establecer el marco referencial entre dónde estamos y hacia dónde vamos en términos de adaptación, mitigación y resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico.

4. Establecer unos cursos de acción para cada sector y para mitigar las emisiones de GEI de fuentes antropogénicas. Los COA deben ser viables para alcanzar los objetivos de reducción de estas emisiones establecidos en la Ley 33 de 2019 para los períodos considerados.

5. Proveer en cada COA una serie de objetivos y estrategias claves para lograr soluciones con métricas cuantificables que ayuden a la mitigación, adaptación

y resiliencia frente al cambio climático, identificando la(s) entidad(es) responsable(s) y un estimado de costos.

6. Establecer las medidas necesarias para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de forma planificada y estableciendo indicadores cuantitativos anuales de los resultados de las acciones.

7. Proveer las mejores prácticas utilizadas en y fuera de Puerto Rico para mitigar, adaptarse y generar resiliencia ante el cambio climático a base de la mejor ciencia disponible.

8. Proveer una serie de recomendaciones y conclusiones para dar continuidad a los procesos de planificación de los sectores y a la Ley 33 de 2019 ante los efectos del cambio climático.

## Sectores que se incluyen en el Plan

La Ley 33 de 2019 establece que los sectores sobre los cuales el P-MARCC debe atender objetivos específicos son:




El CEACC decidió ampliar el alcance del P-MARCC a raíz del análisis de las propuestas presentadas en las vistas públicas sobre el borrador del bosquejo de este documento. También tomó en cuenta la importancia de integrar otros sectores para cumplir la Misión. Así se incluyeron los temas de vivienda (bajo infraestructuras), ecosistemas terrestres y justicia climática, además de los escenarios sobre las proyecciones de aumento del nivel del mar y de la marejada ciclónica sobre Puerto Rico para los años 2030, 2050, 2100.

# CAPÍTULO 1.

# Marco legal

## 1.1. La Ley 33 del 2019 y el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico

La exposición de motivos de la Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico (en adelante, Ley 33-2019) afirma que Puerto Rico es física y socialmente vulnerable a factores de peligros o amenazas de orden natural y antropogénico[6]. Asimismo, reconoce las amenazas climáticas que enfrenta esta región del Caribe.

Las primeras Estimaciones de Resiliencia Comunitaria del Negociado del Censo para Puerto Rico –publicadas en junio del 2023[7] – indican que nuestra población tiene altos niveles de vulnerabilidad social, indicativo de que tendría problemas para recuperarse en caso de un desastre natural. Los 10 factores de riesgo a nivel individual y familiar en que se basan las estimaciones para medir las vulnerabilidades son: nivel de pobreza, número de cuidadores en el hogar, nivel de hacinamiento, nivel de escolaridad, empleo, discapacidades, cubierta médica, edad (65 años o más), acceso a vehículos y acceso a internet de banda ancha. El 46.1 % de la población tenía tres factores de riesgo o más. Los estimados apuntan a que apenas el 14.7 % de la población estaba fuera de los factores de riesgo. El 30 % tenía uno o dos.

Para el 2020, la población de Puerto Rico contaba con 3,311,274 habitantes. De esta población, el 25 % comprende personas de 62 años o más[8]. Otro dato poblacional relevante es que el 43 % de la población vivía bajo el nivel de pobreza[9]. El Informe de Enfermedades Crónicas más reciente disponible (2016-2017) concluye que “al menos el 32.3 % de la población adulta tiene una enfermedad crónica y que las primeras cinco causas de muerte son dichas enfermedades”[10] (Ilustración 1). Según la Organización Panamericana de la Salud: “El manejo y tratamiento de las enfermedades crónicas representa una de las mayores partidas en el presupuesto de salud pública que anualmente destina el

---

6 Ley 33-2019. Exposición de Motivos. Pág. 3.

7 Gurrentz, B., Scurry, J., Notter, I. R. June 07, 2023. How Socially Vulnerable Is Puerto Rico to Disasters? New Community Resilience Estimates Show Almost Half of Puerto Rico Population Had Three or More Risk Factors. Negociado del Censo de Estados Unidos. https://www.census.gov/library/stories/2023/06/how-socially-vulnerable-is-puerto-rico-to-disasters.html

8 Véase la Encuesta sobre la Comunidad (2017-2021) en: https://censo.estadisticas.pr/EncuestaComunidad

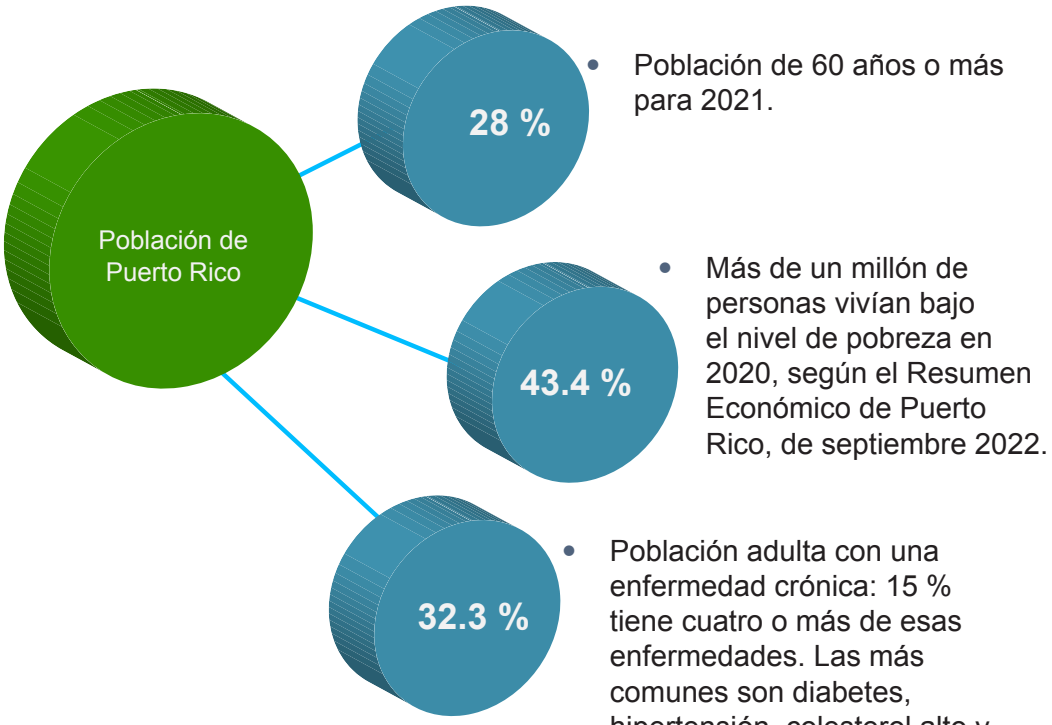
9 Resumen Económico de Puerto Rico, septiembre 2022, p.6. Junta de Planificación. Véase en: https://estadisticas.pr/files/inventario/resumen_economico/2022-12-07/JP-ResumenEcon-2022-09-02.pdf.

10 Ruiz-Serrano, K., Felici, M., Díaz-García, R., & Cases, A. (2019). *Informe de Enfermedades Crónicas, 2016-2017*. División de Prevención y Control de Enfermedades Crónicas, Secretaría de Promoción para la Salud del Departamento de Salud de Puerto Rico. Véase en: https://www.salud.pr.gov/CMS/DOWNLOAD/5533.

Gobierno de Puerto Rico, y se espera que en los próximos años continúe aumentando por efecto del envejecimiento poblacional"[11].

**Ilustración 1.**

*Datos demográficos de Puerto Rico (2020-2021)*




Fuentes: Resumen Económico de Puerto Rico, septiembre 2022, p.6. Junta de Planificación y el Informe de Enfermedades Crónicas (2016-2017), Departamento de Salud.

El Proyecto del Senado 773 (P. del S. 773) que dio origen a la Ley 33-2019 fue radicado en diciembre del 2017. En la exposición de motivos del documento se relacionan los huracanes de ese año con el cambio climático: "El paso de estos dos últimos ciclones levanta nuevamente la concienciación sobre la envergadura de incorporar medidas para reducir los efectos del cambio climático"[12]. Además, se citan informes de la Oficina de Contraloría General de Estados Unidos que concluyeron que los efectos del cambio climático tienen repercusiones serias en las finanzas del gobierno federal. El informe federal citado en el proyecto estableció que los esfuerzos de gestión del riesgo del cambio climático "deben centrarse en las áreas donde se necesita atención inmediata y favore-

[11] Véase el Perfil de Puerto Rico (2023) en el portal de la Organización Panamericana de la Salud: https://hia.paho.org/es/paises-2022/perfil-puerto-rico#situation

[12] Ley 33 de 2019. Exposición de motivos. Pág. 2, párrafo 1.

cer aquellas actividades o medidas que tienen mayor impacto y maximizan las gestiones en contra del cambio climático". Asimismo, en la exposición de motivos se argumenta sobre la necesidad de establecer una estrategia para identificar, priorizar y orientar los recursos económicos para mejorar la resiliencia frente a desastres futuros[13].

El Senado y la Cámara de Representantes aprobaron el proyecto sin oposición ni abstenciones en el 2019, luego de un extenso proceso de deliberación. Se presentaron 27 ponencias en ocho vistas públicas de la comisión de Salud Ambiental y Recursos Naturales del Senado y una de la comisión de Agricultura, Recursos Naturales y Asuntos Ambientales de la Cámara de Representantes[14]. La medida fue a Comisión de Conferencia, tras lo cual se avaló en ambos cuerpos legislativos.

La Ley 33-2019 expone que los efectos del cambio climático son notables en el país. Particularmente, se indica que las comunidades costeras, la infraestructura, la fauna y los ecosistemas son vulnerables a estos cambios[15]. De los datos del Censo del 202015[16] se desprende que el 61 % de la población de Puerto Rico vive en alguno de los 44 municipios costeros. Además, la mayoría de la infraestructura crítica, como los puertos aéreos, marítimos, edificios, viviendas y carreteras ubican en la costa[17]. El contenido de la Ley establece que el cambio climático repercute en la disponibilidad de los alimentos, la salud de la población y en la economía.

La Constitución de Puerto Rico declara: "Será política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de estos para el beneficio general de la comunidad"[18]. En el capítulo

---

13 Ley 33 de 2019. Exposición de motivos. Pág. 5, párrafo 2.

14 Véanse detalles del trámite legislativo en: https://sutra.oslpr.org/osl/esutra/medidareg.aspx?rid=124926

15 Ley 33 de 2019. Exposición de motivos. Pág. 4, párrafo 2.

16 Censo, Puerto Rico 2020. https://www.census.gov/library/stories/state-by-state/puerto-rico-population-change-between-census-decade.html

17 La Guía de Financiamiento para la Resiliencia Costera: Una herramienta para que los municipios de Puerto Rico se recuperen de los impactos de los huracanes Irma y María cita datos del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales del 2017 que indican que el litoral del archipiélago tiene una longitud de aproximadamente 800 millas con más de 1,225 playas, incluyendo a las cuatro islas principales en torno a Puerto Rico: Vieques, Culebra, La Mona y Desecheo. "Todo Puerto Rico está clasificado como un área costera, lo que expone a toda la población, los recursos naturales y la infraestructura crítica de Puerto Rico a algún grado de riesgo de peligros costeros", indica el informe. Por otro lado, en el documento El estado de la costa en Puerto Rico (7 de abril de 2021), preparado por la Dra. Maritza Barreto Orta y el Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico, se citan datos del DRNA sobre la distribución de la infraestructura crítica en la costa: 7 plantas generadoras de energía eléctrica, 249 kilómetros de carreteras principales, 7 aeropuertos, 15 hospitales, 12 puertos y 121 hoteles. Ver también: Soderberg, C. (2 de febrero de 2020). Alza en el nivel del mar: Impacto sobre la infraestructura clave. *El Nuevo Día.*

18 Constitución de Puerto Rico, artículo VI, § 19. https://www.poderjudicial.pr/Documentos/Leyes-Reglamentos/Constitucion-Estado-Libre-Asocicado-PR.pdf

Sociedad y Economía[19] del informe *Estado del clima de Puerto Rico (2014-2021)*[20] se explica que el Tribunal Supremo de Puerto Rico ha interpretado que esta cláusula establece un "doble mandato" para lograr la conservación más efectiva de los recursos naturales de Puerto Rico, al tiempo que se esfuerza por utilizar y desarrollar dichos recursos en el mejor interés y bienestar de la comunidad[21].

Estos mandatos prevalecen sobre cualquier ley, reglamento u ordenanza, según se indica en el informe del Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico (PRCCC) publicado en octubre del 2022. Se añade que, hasta la fecha, no existe una interpretación de esta cláusula constitucional en el contexto del cambio climático.

En el informe se destaca que, sin embargo, a lo largo de los años en Puerto Rico han surgido iniciativas dirigidas a mitigar el cambio climático, adaptarse a sus efectos, promover el desarrollo sostenible y conservar los recursos naturales. Entre otras iniciativas, se han emitido una serie de órdenes ejecutivas (OE) al respecto:

- OE-2013-16[22]: Ordenó desarrollar un estudio sobre la vulnerabilidad de la infraestructura pública relacionada con el cambio climático, y la adopción de planes de adaptación para responder a los hallazgos del estudio. En total, 17 agencias gubernamentales comenzaron a desarrollar estudios de vulnerabilidad al cambio climático. Solo tres agencias completaron sus planes de adaptación: la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), en el 2015[23]; la Compañía de Turismo de Puerto Rico, en el 2016; y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), en el 2016.
- OE-2013-18[24]: Ordenó cuantificar las emisiones de GEI en Puerto Rico, y elaborar un plan para reducirlas y acercarse a la meta de neutralidad en carbono. El informe de GEI se hizo en el 2014[25]. Como parte del desarrollo del P-MARCC y con la colaboración del CEACC, el DRNA encomendó un nuevo estudio de emisiones, cuyos hallazgos están disponibles en el sitio digital del CEACC desde julio de 2023[26].

---

19 Aponte-González, F., Rodríguez-Rivera, L.E., Crespo Acevedo, W., Moyano Flores, R., Quiñones, H., Rodríguez, J.L., Leinberger, A., Santos-Corrada, M., Marrero, V., Rivera-Collazo, I., Ezcurra, P., Parés- Ramos, I.K., Avilés, K.R., Gould, W., Álvarez-Berrios, N., Torres, M., and Rodríguez-Morales,H.K. (2022). Working Group 3: Society and Economy. State of the Climate Report. Puerto Rico Climate Change Council. Aponte-González, F., Díaz, E., Rodríguez-Morales, H.K., Rodríguez, J.L., Marrero, V., Leinberger, A., Crespo Acevedo, W. I., and González, M. (Eds.)

20 Véase el informe en: https://www.pr-ccc.org/publicaciones/

21 El informe del PRCCC cita la decisión Misión Industrial v. Junta de Calidad Ambiental, 1998. https:// dts.poderjudicial.pr/opiniones/1998/98tspr85.pdf

22 Gobernador de Puerto Rico, 2013. https://docs.pr.gov/files/Estado/OrdenesEjecutivas/2013/OE-2013-016.pdf

23 Cambio Climático. *Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.*

24 Gobernador de Puerto Rico, 2013. https://bibliotecalegalambiental.files.wordpress.com/2013/10/oe-2013-018.pdf

25 Center for Climate Strategies (CCS). (30 de septiembre de 2014). *Puerto Rico Greenhouse Gases Baseline Report.*

26 Véase el *Informe de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero para Puerto Rico, 2019 y 2021*. DRNA. (julio, 2023): https://www.drna.pr.gov/noticias/inventario-gei-2019-2021/

- OE-2018-045[27]: Creó el Grupo de Trabajo Multisectorial para Mitigar el Cambio Climático, para establecer y recomendar iniciativas de política pública destinadas a reducir los efectos del cambio climático y proteger el medioambiente.
- OE-2023-009[28]: El 12 de abril de 2023, el gobernador Pedro Pierluisi emitió la Orden Ejecutiva 2023-009 que declaró un estado de emergencia por la crisis de erosión costera como resultado del cambio climático. La Orden Ejecutiva encomienda la implantación de múltiples acciones recomendadas por el CEACC[29]. Además, crea, entre otras medidas, el Comité de Acción para la Adaptación y Resiliencia ante la Erosión Costera, encargado de realizar un inventario de propiedades no habitadas y estructuras abandonadas o en ruinas ubicadas en la zona costera. Asimismo, le asigna determinar cuáles de las acciones contempladas en la orden ejecutiva se llevarán cabo en cada localidad.

La Tabla 2 identifica los estatutos de Puerto Rico relacionados con el cambio climático, además de la Ley 33-2019 en la que se ordena crear este plan.

**Tabla 2.**

*Leyes y regulaciones sobre acción climática*

| |
|---|
| • Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico (Ley 82-2010, según enmendada) |
| • Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico (Ley 17-2019) |
| • Ley de Transformación y Alivio Energético (Ley 57-2014) |
| • Ley para la Reducción y el Reciclaje de Residuos Sólidos en Puerto Rico (Ley 70-1992, según enmendada) |
| • Ley del “Día de la Educación sobre Cambio Climático en Puerto Rico” (Ley 152-2019) |
| • Ley de Reforma Educativa de Puerto Rico (Ley 85-2018) |
| • Ley de Política Pública para el Desarrollo Sostenible de Turismo en Puerto Rico (Ley 254-2006, según enmendada) |
| • Ley de Regionalización Turística de Puerto Rico (Ley 125-2016) |

En su análisis, el PRCCC reconoce que la Ley 33-2019 es la primera política pública que Puerto Rico establece para responder al cambio climático. El gobierno asume con ella su responsabilidad indelegable de adoptar medidas que mitiguen emisiones y redunden en las mejores prácticas de adaptación, creación de más resiliencia y reducción de vulnerabilidades al cambio climático.

[27] Departamento de Estado de Puerto Rico: https://docs.pr.gov/files/Estado/OrdenesEjecutivas/2018/OE-2018-045.pdf
[28] Boletín Administrativo Núm. OE-2023-009.
[29] Véase el documento en: https://drive.google.com/file/d/1MIZKJ8trBcjbGwTTJ4YzFhmUtCkK0hvk/view?fbclid=IwAR15iwIMAe1I7UwY9m2wDmcOCGOh4hKq1dQJ2UxHo0MxBA2S_Tv7d797MDU

## 1.2. El Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático y el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático

En el artículo 6 de la Ley 33-2019 se ordenó crear el Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático con la encomienda de asesorar y preparar el P-MARCC. El estatuto facultó al CEACC para atender los asuntos sustantivos con total autonomía e independencia y lo adscribió al DRNA.

La Ley otorgó al CEACC la prerrogativa de promover la concertación comunitaria, la participación de profesionales, de los mejores expertos e instituciones y del mayor número de agentes implicados e interesados en los sectores correspondientes para nutrir con propuestas la elaboración del Plan. Igualmente, la Ley concedió al Comité la potestad de monitorear y evaluar el seguimiento e implantación de las políticas climáticas, los planes estratégicos de las agencias y los planes de acción sectoriales relacionados con los aspectos relevantes para alcanzar las finalidades de la política pública.

En el artículo 6, inciso (a), de la Ley 33-2019 se instruye sobre la composición que deberá tener el CEACC: tendrá nueve miembros, de los cuales tres son miembros *ex officio* con derecho a voz y voto. El gobernador nombrará al resto de los miembros con el consejo y consentimiento del Senado y la Cámara de Representantes. Los miembros *ex officio* son el secretario o la secretaria del DRNA, quien presidirá el Comité; el presidente o la presidenta de la Universidad de Puerto Rico (UPR); y el secretario o la secretaria de Desarrollo Económico y Comercio. Mientras, los miembros nombrados por el gobernador deben tener trasfondo educativo, profesional o experiencia en el campo con conocimientos técnicos-científicos en ciencias atmosféricas (climatología y meteorología), ciencias naturales (ciencias ambientales, biología, ecología, física y química), planificación (ambiental, económica y urbana), oceanografía, salud pública (salud ambiental, epidemiología, demografía), ciencias terrestres (geografía, hidrología, geomorfología y geología), energía, sociología (repercusiones medioambientales y socioeconómicas), ingeniería ambiental y/o desarrollo sostenible. Al menos uno de ellos debe tener pericia en asuntos de energía renovable o alternativa y no podrán ser empleados públicos, excepto que sean profesores de la UPR.

Luego de completado el plan, el CEACC tiene la encomienda de someter el documento a la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa para su evaluación y acciones correspondientes.

## 1.3. La comisión conjunta de la legislatura sobre cambio climático

En el capítulo III (artículo 15) de la Ley 33-2019 se ordenó crear la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa de Puerto Rico. El organismo legislativo debe estar compuesto por siete miembros del Senado y siete de la Cámara de Representantes.

La Ley le confirió a la Comisión Conjunta jurisdicción para:

1. Estudiar, evaluar, informar, hacer recomendaciones, enmendar y aprobar el P-MARCC sometido por el CEACC, para presentarlo al pleno de ambos cuer-

pos legislativos. Para ello se dispone que, una vez recomendado el Plan, la Comisión Conjunta tendrá no más tarde de la culminación de la próxima sesión ordinaria para presentarlo simultáneamente a ambos cuerpos de la Asamblea Legislativa (art. 15, inciso a);

2. Examinar, investigar, evaluar y estudiar todo lo concerniente a la mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático (art. 15, inc. b);

3. Dar seguimiento periódico a los trabajos para la consecución del P-MARCC y cualquier propuesta relacionada con los propósitos de la Ley 33 de 2019 para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero, la transición a la energía renovable y estrategias de adaptación (art. 15, inc. c);

4. Evaluar e informar a la Asamblea Legislativa en torno al estudio de todas las medidas legislativas radicadas en ambos cuerpos legislativos concernientes al cambio climático (art. 15, inc. d);

5. Redactar, presentar y enmendar proyectos de ley, resoluciones y medidas sustitutivas relacionadas con el cambio climático y sus efectos en los distintos sectores (art. 15, inc. e);

6. Recomendar el uso de fondos del Fondo General, para el cumplimiento de la política pública enunciada en la Ley 33 del 2019 (art. 15, inc. f);

7. Realizar cualquier otra función asignada mediante Resolución Concurrente (art. 15, inc. g).

Además, cada tres años, la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático debe revisar la necesidad y conveniencia de la Ley 33-2019, y rendir un informe al gobernador y a los presidentes de los cuerpos legislativos sobre el particular, según dispone el artículo 15 del referido estatuto.

### 1.3.1. Aval de la legislatura

Una vez que la Comisión Conjunta apruebe el P-MARCC, lo someterá a la consideración del pleno de ambos cuerpos de la Asamblea Legislativa. Si se aprueba, pasará al gobernador de Puerto Rico para su firma o veto[30].

## 1.4. Leyes y reglamentos federales específicos sobre el cambio climático luego de la aprobación de la Ley 33 del 2019

A partir del 2021, el gobierno federal de Estados Unidos estableció medidas ejecutivas y legislativas asociadas a los retos ambientales y los cambios acelerados relacionados con el clima. El capítulo Sociedad y Economía del informe del PRCCC (2022) provee un resumen de estas leyes y de la jurisprudencia vigente relacionada con el cambio climático.

[30] Ley 33-2019, artículo 16.

Específicamente, la administración del presidente Joseph Biden emitió en el 2021 cuatro órdenes ejecutivas relacionadas con el cambio climático:

- Orden Ejecutiva 13990 del 20 de enero de 2021: Protección de la salud pública y el medioambiente y restauración de la ciencia para abordar la crisis climática[31].
- Orden Ejecutiva 14008 del 27 de enero de 2021: Abordar la crisis climática nacional e internacionalmente[32].
- Orden Ejecutiva 14013 del 4 de febrero de 2021: Reconstrucción y mejora de los programas para reasentar a los refugiados y planificación de los impactos del cambio climático en la migración[33].
- Orden Ejecutiva 14057 del 8 de diciembre de 2021: Catalizando industrias y empleos de energía limpia a través de la sostenibilidad federal[34].
- Orden Ejecutiva 14008 del 21 de abril de 2023: Abordar la crisis climática nacional e internacionalmente[35] que amplía el alcance de la orden del 27 de enero del 2021 para proteger mejor a las comunidades más afectadas por la contaminación y los daños ambientales. La Orden Ejecutiva dispone que las agencias consideren medidas para abordar y prevenir los impactos ambientales y de salud desproporcionados y adversos en las comunidades, incluidos los efectos acumulativos de la contaminación y otras cargas como el cambio climático.

El gobierno federal promulgó también la Ley de Innovación y Fabricación Estadounidense (27 de diciembre de 2020) que autoriza a la EPA a reducir gradualmente la producción y el consumo de los gases refrigerantes hidrofluorocarburos (HFC), administrar estos y sus sustitutos, y facilitar la transición a tecnologías de próxima generación[36]. Estos componentes son poderosos gases de efecto invernadero. El 3 de noviembre de 2022, la EPA propuso un reglamento para establecer la metodología para permitir las asignaciones de producción y consumo de HFC con miras a limitarlas a un 40 % por debajo del estándar, entre el 2024 y el 2028.

La atención al cambio climático es uno de los pilares de la Ley Bipartidista de Infraestructura firmada el 15 de noviembre de 2021. Otros ejes fundamentales de esta ley son

---

31 Federal Register, 2021a: https://www.federalregister.gov/documents/2021/01/25/2021-01765/protecting-public-health-and-the-environment-and-restoring-science-to-tackle-the-climate-crisis

32 Federal Register, 2021b: https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/01/2021-02177/tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad

33 Federal Register, 2021c: https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/09/2021-02804/rebuilding-and-enhancing-programs-to-resettle-refugees-and-planning-for-the-impact-of-climate-change

34 Federal Register, 2021d: https://www.federalregister.gov/documents/2021/12/13/2021-27114/catalyzing-clean-energy-industries-and-jobs-through-federal-sustainability

35 Véase en: https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/01/27/executive-order-on-tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad/.

36 Véase https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction.

promover la justicia ambiental y ampliar el acceso al agua potable limpia[37]. El estatuto asigna más de $2,265 millones a Puerto Rico para mejorar las vías de transporte público, ampliar la red de recarga de vehículos eléctricos, proveer cobertura de banda ancha en toda la isla y facilitar el beneficio de conectividad asequible para familias de bajos ingresos, proteger contra fuegos forestales, reducir los costos de energía eléctrica y desarrollar infraestructura de agua y aeropuertos.

Asimismo, la administración del gobierno federal creó en agosto del 2022 la Ley de Reducción de la Inflación[38], consistente con la política pública de avanzar en atender el cambio climático. La Ley crea, entre otras iniciativas, el Fondo de Reducción de Gases de Efecto Invernadero. El Fondo facilita el financiamiento de proyectos climáticos y energéticos impulsando el desarrollo de una economía basada en energía limpia. La Casa Blanca informó que esta ley ayudará a proteger a las comunidades de Puerto Rico más expuestas a los efectos del cambio climático, mediante fondos de asistencia técnica para apoyar la acción climática y aumentar la resiliencia ante condiciones climáticas extremas, el aumento del nivel del mar y otros riesgos. También destina fondos para apoyar a las comunidades costeras con resiliencia climática, conservación, restauración y protección costera. Además, crea un Programa de Subsidios de Equidad y Acceso a Comunidades que incluye apoyo para proyectos de transporte y planificación que ayuden a proteger a las comunidades de inundaciones y del calor extremo, entre otras amenazas. El programa promueve proyectos de siembra y reforestación.

37 Véase: https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-117publ58/pdf/PLAW-117publ58.pdf
38 Véase: https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/

# CAPÍTULO 2.

# Marco conceptual

## 2.1. Proceso de planificación del Plan

El P-MARCC se enmarca en la **planificación participativa**. Este enfoque base de unidad de análisis y planificación cuenta con la interacción de diferentes actores de la comunidad identificados en la Ley 33-2019, teniendo en cuenta que cada uno tiene diferentes niveles de participación. Los actores incluyen agencias estatales, agencias federales, corporaciones públicas, municipios, empresas privadas, la academia, organizaciones sin fines de lucro y la comunidad, entre otros grupos de interés. La Ley no exime que el gobierno, sus agencias, instrumentalidades, dependencias ni cualesquiera otras implanten la política pública que establece su letra. Sí dispone, en el artículo 9, unas guías por sectores que pueden involucrar directa e indirectamente a otras instituciones.

El P-MARCC presenta la situación local relacionada con el cambio climático, considerando las emisiones de GEI y las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico en los siguientes sectores principales: energía, infraestructura (incluye vivienda), transporte y movilidad, residuos sólidos, salud, agricultura y ganadería, agua, sistemas marinos y zonas costeras, ecosistemas terrestres, forestación, turismo, educación y justicia climática. Además, presenta los cursos de acción para propiciar los objetivos de reducción de emisiones establecidos en el artículo 5 y según las guías por sectores para reducir los efectos del cambio climático indicadas en el artículo 9 de la Ley.

El Plan utiliza también un enfoque de **planificación estratégica**. Su marco estratégico se basa en tres disposiciones del artículo 8 de la Ley:

1. Establecer los objetivos de emisiones de gases de efecto de invernadero y de los contaminantes del aire por períodos, así como una propuesta de las medidas necesarias para alcanzarlos de forma planificada y los indicadores cuantitativos anuales del impacto de las acciones. Para lograr estos objetivos y promover la concertación comunitaria deberá contar con la participación de los entes locales y los demás actores implicados.

2. Un marco estratégico, detallado sectorialmente.

3. Identificar los sistemas naturales, territorios y sectores socioeconómicos más vulnerables con una propuesta de medidas de adaptación necesarias para reducir la vulnerabilidad. Entre estas, se identificarán las zonas con alta erosión de costas, áreas de mayor alcance de inundación costera, producidas por marejadas asociadas a sistemas ciclónicos y frentes de frío, zonas de alta inundabilidad causada por descargas de ríos, zonas altamente susceptibles a inundabilidad por aumento del nivel del mar, áreas propensas a racionamiento de agua, áreas donde el desarrollo económico está comprometido o pudiera estar comprometido por falta de agua, acuíferos en estado crítico, embalses

cuya capacidad de almacenamiento está comprometida por sedimentación o menoscabo estructural de la represa, entre otras.

Este documento incluye medidas indicadas en el artículo 9 de la Ley con el propósito de lograr los objetivos de reducir emisiones y vulnerabilidad, el desperdicio alimentario y el consumo de recursos. El Plan establece el límite de las emisiones de los GEI permitido a los sectores que aplique. (La definición de emisiones está contenida en el inciso (n) del artículo 2 de la Ley).

El Plan prioriza en el manejo de las cuencas hidrográficas y costas, por encomienda del artículo 9. Reconoce a la cuenca hidrográfica como una unidad de planificación para el desarrollo de proyectos en los sectores que aplique. Por consiguiente, las estrategias del Plan se alinean a dicho análisis conceptual de integrar la cuenca hidrográfica como unidad de planificación, según corresponda. Este enfoque se consideró en el Plan Integral de Recursos de Aguas de Puerto Rico (PIRA) vigente, elaborado por el DRNA. El PIRA establece que: "La cuenca hidrográfica permite una interpretación más certera e integrada de las actividades naturales o inducidas por el ser humano que ocurren en ese contexto natural lo que, a su vez, permite conocer sus consecuencias en el sistema hídrico. Igualmente, como marco de análisis, la cuenca provee una mejor base para la planificación, conservación, uso y manejo sostenible del agua" (DRNA, 2016)[39].

Además, el P-MARCC es consistente con el PIR de la AEE aprobado por el Negociado de Energía de Puerto Rico, y con la Ley 17-2019, como ordena el artículo 8 de la Ley 33-2019. En vista de que el PIR es un documento de política pública relativamente nuevo, cuya implantación se encuentra en sus primeras fases, el desarrollo del P-MARCC se considera como un proceso continuo de alineación con el PIR actual.

El P-MARCC tiene como contexto otros esfuerzos de planificación gubernamental en áreas sobre las que el cambio climático incide. Se analizaron los datos y resultados de análisis técnicos en cada una de estas instancias. Entre estos esfuerzos se destacan los siguientes:

1. Plan de Uso de Terrenos, Junta de Planificación de Puerto Rico - 2015.
2. Planes estratégicos vigentes de las 18 agencias relacionadas con la Ley.
3. Plan de Desarrollo Económico del DDEC.
4. PIR de la AEE - 2019.
5. Plan Fiscal de la AEE - 2020.
6. *Puerto Rico Disaster Recovery Action Plan* - Departamento de la Vivienda federal.

[39] DRNA. 2016. Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico 2016, División de Monitoreo del Plan de Aguas, San Juan, Puerto Rico.

## 2.2. Marco conceptual de la mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático

### 2.2.1. Mitigación, adaptación y resiliencia: Criterios estratégicos para la elaboración del Plan

El artículo 9 de la Ley 33-2019 establece las medidas que el P-MARCC debe incluir para lograr sus objetivos. El capítulo 7 detalla las guías que regirán el desarrollo de los cursos de acción del Plan para cada sector. A continuación se resumen a grandes rasgos los marcos de acción sectorial:

**Fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto de invernadero**

Reducir los niveles de las emisiones a través de acciones en las áreas de energía, construcción de viviendas e infraestructura, transporte, manejo de residuos y forestación para contribuir a los esfuerzos internacionales para mantener el calentamiento global en menos de 2.7 °F por encima de los niveles preindustriales.

**Energía**

Impulsar la transformación del modelo energético en uno de generación a base de fuentes renovables y alternas, de la eficiencia y el ahorro energético.

**Infraestructuras**

Impulsar nuevos modelos de planificación urbana, diseño y construcción de infraestructuras e instalaciones residenciales, turísticas y de otros servicios a base de estándares de conservación de recursos y eficiencia. Para esto deben tenerse en cuenta los análisis de vulnerabilidad a los efectos del cambio climático y los recursos de la infraestructura verde. Además, proteger *in situ* o reubicar de forma planificada la infraestructura que será impactada por el aumento del nivel del mar, las marejadas ciclónicas y otro tipo de marejadas.

**Transporte y movilidad**

Propiciar las condiciones físicas, tecnológicas y culturales para avanzar hacia un modelo de transporte colectivo, público e intermodal, que impulse a su vez la diversificación y eficiencia energética. Además, impulsar la transformación del parque vehicular de Puerto Rico de vehículos de combustión interna a vehículos híbridos y eléctricos.

### Residuos sólidos

Promover y propiciar estrategias de manejo de residuos con las metas de reducir la cantidad de residuos depositados en los vertederos en un 60 %.

### Salud

Entender y concienciar sobre los efectos del cambio climático en la salud de la población, y diseñar respuestas para protegerla, principalmente a los grupos desatendidos, desfavorecidos y desventajados.

### Agricultura y ganadería

Identificar las vulnerabilidades y fortalezas de los cultivos y las especies agrícolas, y adoptar prácticas y tecnologías eficientes y responsables con los recursos aire, agua y suelo.

### Agua

Adoptar acciones, prácticas y tecnologías que permitan un abasto confiable de agua al pueblo de Puerto Rico, a pesar de una posible merma de un 20 % en la lluvia.

### Sistemas marinos y zonas costeras

Establecer políticas, sistemas y acciones que corrijan, mitiguen y prevengan de modo sostenible los efectos del cambio climático sobre los recursos marinos y costeros y las comunidades, entre ellos, la acidificación de los océanos, los aumentos en el nivel del mar y su temperatura.

**Forestación**

Impulsar una gestión de forestación urbana y forestación aguas arriba de los embalses que suplen agua a la AAA.

**Turismo**

Proteger o reubicar de forma planificada la infraestructura turística para asegurar este importante componente de nuestra economía. Además, proteger las playas de la erosión y contaminación del agua para mantener uno de los principales atractivos turísticos de la isla.

**Educación**

Aumentar el conocimiento de la población en torno al cambio climático, sus efectos sobre los ecosistemas naturales, la sociedad y la economía, y sobre las acciones para adaptarse y superar esas amenazas.

El Plan enmarca en estas guías los cursos de acción que se desglosan en los capítulos 6 y 7.

## 2.3. Proceso del desarrollo del Plan

Los miembros del CEACC elaboraron el Plan apoyados por un grupo de trabajo compuesto de 14 especialistas, una planificadora, un coordinador y una redactora. Estos fueron seleccionados por el CEACC a través de un proceso de evaluación estandarizado.

Esto propició, desde los fundamentos del desarrollo del Plan, tener un abanico de enfoques y experiencias distintas; promovió inclusión, diversidad y la participación de conocimientos. Los especialistas desarrollaron secciones del Plan, utilizando diferentes metodologías que se detallan en la sección 2.3.1. Tuvieron como referencia el marco legal y conceptual, la situación actual de las emisiones de GEI y de las manifestaciones del cambio climático, y los datos y análisis que dieron paso al diagnóstico por sectores, entre otra información. Las labores se hicieron bajo la supervisión de los miembros permanentes del CEACC con el apoyo de los miembros *ex officio* y su personal de confianza asignado. Con esa multiplicidad de peritaje y trasfondos profesionales se desarrolló una estructura que logró integrar el cúmulo de información recopilada y producida por los especialistas del CEACC, la planificadora, la redactora, los peritos consultados, las agencias de apoyo técnico y los miembros del CEACC (ver la sección Créditos en el Tomo 2).

Otra iniciativa novel que formó parte del proceso de desarrollo del P-MARCC fue cumplir con el espíritu de la exposición de motivos de la Ley 33-2019, la cual establece que: "[e]se plan de mitigación, adaptación y resiliencia se nutrirá de distintos sectores y de la coordinación y envolvimiento de estos, así como fomentará la participación, incentivación y educación ciudadana, social y económica". El CEACC ha mantenido comunicación constante con diversos grupos, que incluyen a personal de gobierno y al público en general, mediante grupos focales y la participación en actividades informativas durante todo el proceso de desarrollo de este documento, desde consultar a la ciudadanía sobre el borrador del bosquejo del plan hasta someter el borrador del Plan a vistas públicas antes de entregarlo a la legislatura. La sección 2.6 abunda al respecto.

Además, un esquema de ejecución de trabajo rigió los procesos a seguir y permitió evaluar la realización y la integración de las secciones y el montaje del Plan siguiendo el bosquejo aprobado. Este instrumento se usó para evaluar y medir mensualmente el avance del borrador para hacer las recomendaciones de mejoras pertinentes en cada sección del Plan asignada a los especialistas, la planificadora y la redactora. El ejercicio permitió saber: 1) el estatus de los capítulos; 2) qué partes faltaban; 3) las áreas que requerían prioridad para avanzar en su desarrollo; 4) si se necesitaban otros especialistas; y 5) el cumplimiento del plan de trabajo, entre otros aspectos.

### 2.3.1. Metodología del Plan

Un buen diseño metodológico es crucial para poder tener un diagnóstico e información que permitan identificar vacíos que pueden convertirse en oportunidades de cursos de acción y estrategias a corto, mediano y largo plazo. Así se facilita que las acciones propicien la adaptación y resiliencia de los sectores antes, durante y después de eventos causados por el cambio climático, con un enfoque de mitigación apropiado.

Esto se logró mediante dos acciones metodológicas: 1) recolección de datos y 2) análisis de la información. Estos métodos se desarrollaron a su vez con distintos procesos sistemáticos (ver la Tabla 3) teniendo en cuenta el mejor peritaje y de acuerdo con las necesidades de búsqueda de información más reciente y validada para el desarrollo de los capítulos. De manera general, se diseñó una matriz (Tabla 3) que recoge los tipos de técnicas utilizadas. El detalle de los esfuerzos de participación pública que aportaron a estas metodologías se describe en el anejo 2. La información derivada de estos métodos nutre los capítulos con las referencias citadas.

**Tabla 3.**

*Metodología utilizada en los capítulos del P-MARCC*

**Métodos de recolección de datos**

1. Identificación y revisión de documentos (arbitrados, informes técnicos y materiales audiovisuales, entre otros).
2. Consultas informadas.
3. Grupos focales.
4. Entrevistas.
5. Encuestas.
6. Visita ocular de campo.

**Métodos para el análisis de la información**

7. Análisis de mapas, datos y geodatos ya publicados.
8. Índice de especialización industrial (o como se conoce en inglés *Location Quotient*) en todos los 78 municipios de Puerto Rico.
9. Perfil de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA).

| Capítulos | Técnicas metodológicas utilizadas | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Capítulo 1. Marco legal | x | x | | | | | | | |
| Capítulo 2. Marco conceptual | x | x | | | | | | | |
| Capítulo 3. Emisiones de gases de efecto de invernadero y la situación actual de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico | x | | | | | | x | | |
| Capítulo 4. Impacto del cambio climático en Puerto Rico | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 4.1. Energía | x | | | x | | | | | |
| 4.2. Infraestructuras | x | x | | | | x | x | | |
| 4.3. Transportes y movilidad | x | | | x | | x | x | x | x |
| 4.4. Residuos sólidos | x | | | | | | x | | |
| 4.5. Salud y bienestar | x | | x | x | | | | | x |
| 4.6. Agricultura y ganadería | x | | | | | | | | |
| 4.7. Agua | x | | | | | | x | | |
| 4.8. Sistemas marinos y zonas costeras | x | | | x | | x | x | | |
| 4.9. Ecosistemas terrestres | x | | | x | | | | | |
| 4.10. Forestación | x | x | x | x | | x | | | |
| 4.11. Turismo | x | x | x | x | | | x | | |
| 4.12. Educación | x | x | x | x | x | | | | |
| 4.13. Justicia climática | x | x | | | | | | | x |
| 4.14. Escenarios sobre las proyecciones del aumento del nivel del mar y marejada ciclónica sobre Puerto Rico (2030, 2050, 2100) | x | x | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Capítulo 5. Análisis de diagnósticos de los sectores: FODA | x | x | | | | | | | |
| Capítulo 6. Cursos de Acción (COA) para la mitigación de fuentes antropogénicas de emisiones de gases invernadero | x | x | | | | x | x | | |
| Capítulo 7. Cursos de Acción (COA) para la adaptación y resiliencia ante el cambio climático por sectores | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 7.1. Energía | x | | | x | | | | | |
| 7.2. Infraestructuras | x | x | | | | x | x | | |
| 7.3. Transportes y movilidad | x | | | x | | x | x | x | x |
| 7.4. Residuos sólidos | x | | | | | | x | | |
| 7.5. Salud y bienestar | x | | x | x | | | | | x |
| 7.6. Agricultura y ganadería | x | | | | | | | | |
| 7.7. Agua | x | | | | | | x | | |
| 7.8. Sistemas marinos y zonas costeras | x | | | x | | x | | | |
| 7.9. Forestación y ecosistemas terrestres | x | x | x | x | | x | | | |
| 7.10. Turismo | x | x | x | x | | | x | | |
| 7.11. Educación | x | x | x | x | x | | | | |
| 7.12. Justicia climática | x | x | | | | | | | x |
| Capítulo 8. Adopción del Plan | x | x | | | | | | | |
| Capítulo 9. Conclusiones y recomendaciones | | | | | | | | | |
| anejos | x | x | | | | | | | |

## 2.4. Plan multisectorial y multiconceptual (según especificado en la Ley 33-2019)

La Ley 33-2019 establece las bases para que este sea un **plan multiconceptual** y **multisectorial**. El Plan es **multiconceptual** porque incluye como eje y/o marco teórico/conceptual principal tres conceptos: la mitigación, adaptación y resiliencia. El desarrollo de cada capítulo mantuvo foco sobre estos conceptos –según definidos en el artículo 2 del estatuto– de manera organizada y con un lenguaje que pueda ser entendido por la población general de Puerto Rico sin perder la veracidad y validación científica y técnica (ver la Ilustración 2).

**Ilustración 2.**

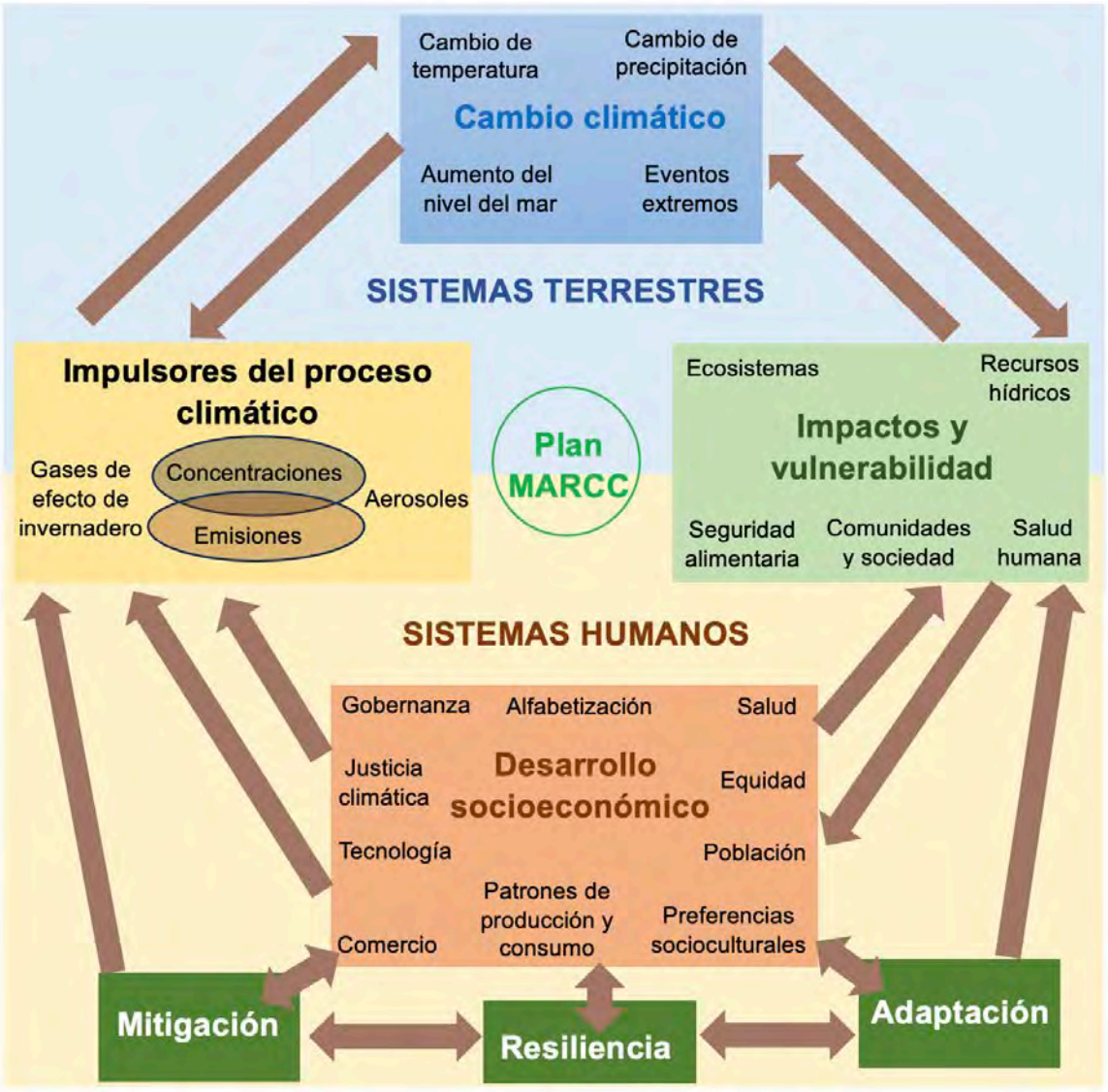
*Los conceptos sobre mitigación, adaptación y resiliencia frente al cambio climático definidos por la ley 33-2019*




Un enfoque integrado del cambio climático tiene en cuenta la dinámica del ciclo completo de las causas y los efectos interrelacionados en todos los sectores afectados. El P-MARCC reconoce esta visión holística y adopta, modificado para el P-MARCC, el siguiente esquema de marco de evaluación integrado para la consideración de los cambios climáticos antropogénicos según se indica en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4) (Ilustración 3). La modificación se adapta a Puerto Rico a la luz del P-MARCC, con la integración de la justicia climática en el desarrollo socioeconómico, la resiliencia como otro concepto sumado a la mitigación y adaptación; y reconociendo al P-MARRC como documento de política pública que tiene en cuenta este ciclo completo en todos los sectores que la Ley 33-2019 incluye para el desarrollo de los cursos de acción y su evaluación.

**Ilustración 3.**

*Adaptación a Puerto Rico de marco esquemático de los impulsores antropogénicos, impactos y respuestas al cambio climático*




Marco esquemático de los impulsores antropogénicos, impactos y respuestas al cambio climático, del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC[40] adaptado y modificado para el P-MARCC. El P-MARCC (como eje central de la Ilustración 3) es el documento de política pública climática de Puerto Rico con diagnósticos y cursos de acción para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para los siguientes sectores: energía, infraestructuras, transportes y movilidad, residuos sólidos, salud y bienestar, agricultura y ganadería, agua, sistemas marinos y zonas costeras, ecosistemas terrestres, forestación, turismo y educación.

[40] IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. Véase en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

El Plan es a su vez **multisectorial** debido a que la Ley 33-2019 ordena organizarlo por sectores, según se indica al comienzo de esta sección. La evaluación de estos se hizo con diversas perspectivas como son las de gobierno, la empresa privada, las organizaciones sin fines de lucro, comunidades y la academia, entre otras.

Al ser por mandato un plan multisectorial, este documento tomó como guía principal las encomiendas establecidas en la Ley 33-2019 por sector y consideró las políticas públicas vigentes para los diferentes sectores al trazar los cursos de acción con objetivos y estrategias a corto, mediano y largo plazo (véanse los capítulos 6 y 7). Con ello se orienta la ruta a tomar por el país ante las manifestaciones del cambio climático.

## 2.5. Percepción y divulgación sobre el cambio climático

Conocer cómo la ciudadanía percibe el cambio climático, sus experiencias, exposición al riesgo y el grado de entendimiento con que cuenta permite facilitar su participación sostenida en el diseño, la ejecución, evaluación y efectividad de las políticas climáticas.

Estudios realizados en la última década dan cuenta de que la percepción de la ciudadanía avanza gradualmente en reconocer algunos términos relacionados con el cambio climático (por ejemplo, calentamiento global y aumento del nivel del mar). Asimismo, los estudios revelan que, pese al progreso en ese reconocimiento, la ciudadanía no tiene aún una percepción clara sobre las amenazas concretas que el cambio climático representa para su cotidianidad y para Puerto Rico en general. Esta tendencia se mantuvo aún después de la devastación que los huracanes Irma y María dejaron sobre la isla en el 2017.

Por ejemplo, un estudio del 2018 comisionado por el Programa de Manejo de la Zona Costanera (PMZC) del DRNA encontró que el cambio climático ocupaba la novena posición entre los problemas principales identificados en una encuesta en la que participaron 1,000 personas. Otro estudio del 2021 demostró que, aunque la ciudadanía reconoce los efectos del cambio climático, no necesariamente se inclina a asumir las transformaciones individuales y de país que requieren protegerse y adaptarse a esas manifestaciones. La sección 4.12 provee detalles sobre los hallazgos de estos y otros estudios.

Los resultados de las investigaciones, así como la propia ciudadanía, señalan la necesidad de intensificar los esfuerzos de orientación sobre el cambio climático y sobre las medidas de adaptación y resiliencia que urge tomar. El cambio climático puede parecer a algunas personas una abstracción que no necesariamente relacionan con el calor que les agobia o con las inundaciones que alcanzan sus viviendas por un evento extremo de lluvia. En la medida en que la población entienda cómo los informes y proyecciones científicas sobre asuntos como el calentamiento global y el alza en el nivel del mar tienen consecuencias presentes o inminentes en el país, en su comunidad, su vida y rutinas, podrá reconocer que el cambio climático es una emergencia ante la cual debemos actuar como ciudadanos, sectores y sociedad.

Numerosos informes documentan los esfuerzos de la comunidad científica en Puerto Rico para investigar, documentar, educar y concienciar sobre el cambio climático.

Desde finales de la década de 2000, el PMZC del DRNA convocó a una serie de mesas redondas con expertos de la comunidad científica y académica para compartir datos sobre el estado climático e intercambiar conocimientos con otros sectores, como el privado, organizaciones no gubernamentales y representantes de los medios de comunicación. Agrupado bajo el PRCCC[41], el esfuerzo sumó investigadores, planificadores, arquitectos y profesionales de otras disciplinas con el objetivo de desarrollar recomendaciones dirigidas al gobierno a nivel central y municipal, a las comunidades y al sector privado. El PRCCC produjo al menos tres publicaciones a la fecha. La primera publicación fue *El estado del clima de Puerto Rico: evaluación de la vulnerabilidad socioecológica de Puerto Rico en un clima cambiante (2010-2013)*[42]. Luego publicó el documento *Ruta hacia la resiliencia: guía de estrategias para la adaptación al cambio climático de Puerto Rico* (2015)[43], elaborado en conjunto con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), el PMZC y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, entre otros colaboradores. Este P-MARCC cita el informe más reciente, *Estado del clima de Puerto Rico*, publicado en el 2022. Dichas iniciativas y otros esfuerzos generados por la comunidad científica y académica evolucionaron hasta lograr la aprobación de la Ley 33-2019.

Otro ejemplo de los espacios creados por expertos de las agencias estatales y federales y de universidades para generar e intercambiar conocimiento con actores de otros sectores es el Centro Climático del Caribe o *Caribbean Climate Hub*. Este es uno de diez centros regionales de la red de centros climáticos establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos[44]. El Centro identifica como sus objetivos: proveer apoyo técnico a la comunidad agropecuaria y forestal en Puerto Rico e Islas Vírgenes para que puedan responder efectivamente a eventos de sequía, estrés por calor e inundaciones, y manejar adecuadamente cambios en el calendario de producción, plagas, enfermedades y demás retos asociados al cambio climático. Otro objetivo es educar y divulgar información científica a dicha comunidad sobre prácticas sostenibles de manejo agrícola para ayudar a incrementar la resiliencia climática en la región del Caribe.

Entre las aportaciones de la academia destacan las de la UPR: en Río Piedras, el Centro Legal de Desarrollo de Resiliencia de la Universidad de Puerto Rico[45] y el Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico, adscrito a la Escuela Graduada de Planificación; el Recinto de Mayagüez tiene el Programa *Sea Grant*[46], la Oficina de Climatología de Puerto Rico[47] y el Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica

41 Véase: http://www.pr-ccc.org.

42 *Puerto Rico Climate Change Council* (PRCCC). 2013. *Puerto Rico's State of the Climate 2010-2013: Assessing Puerto Rico's Social-Ecological Vulnerabilities in a Changing Climate. Puerto Rico Coastal Zone Management Program, Department of Natural and Environmental Resources, NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. San Juan, PR.*

43 Véase: https://www.pr-ccc.org/publications/ruta-a-la-resiliencia-guia-de-herramientas-para-la-adaptacion-comunitaria-al-cambio-climatico/.

44 Véase: caribbeanclimatehub.org.

45 Véase: https://derecho.uprrp.edu/uplc-spanish/.

46 Véase: https://seagrantpr.org/.

47 Véase: https://www.uprm.edu/portada/2022/02/04/se-reactiva-oficina-de-climatologia-del-rum/.

(CARICOOS)[48]; en Humacao se desarrolla el proyecto de investigación ITIAS-GEO[49], vertiente del Instituto Transdisciplinario de Investigación-Acción; y las iniciativas del Departamento de Salud Ambiental del Recinto de Ciencias Médicas.

Por su parte, la Universidad Interamericana de Puerto Rico y la Universidad Ana G. Méndez cuentan con programas de bachillerato y maestría en Ciencias Ambientales –y doctorado, en el caso de la última– que amplían las oportunidades de desarrollo de investigaciones y de las nuevas capacidades que necesitaremos para enfrentar el cambio climático[50].

A la par, entidades sin fines de lucro realizan trabajo de educación y acciones, mientras que otras se centran en la abogacía. Algunas han surgido como iniciativas comunitarias. Entre otras, destacan: Para la Naturaleza[51], el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan[52], EcoExploratorio: Museo de Ciencias de Puerto Rico y Amnistía Internacional[53].

Por otro lado, numerosas voces de la comunidad científica y de la academia se mantienen activas informando sobre los alcances del cambio climático y las acciones que se deben tomar. Algunos de ellos, hoy miembros del CEACC, han aportado durante años su conocimiento y explicaciones de los informes especializados internacionales, federales o locales a través de columnas periódicas en los medios de prensa de circulación general y otras plataformas[54].

### 2.5.1. El CEACC en la comunidad

Como parte de los esfuerzos educativos dirigidos al público en general, los miembros permanentes del CEACC ofrecieron, entre el 2020 y el 2023, al menos diez charlas virtuales o presenciales en Ponce, Humacao, Toa Baja, San Juan, Mayagüez y Arecibo. Las actividades cubrieron, entre otros temas, las implicaciones que el cambio climático tiene para Puerto Rico, la importancia de conservar y preservar los recursos del planeta como el agua, y la importancia de educar sobre el cambio climático.

Además, el CEACC participó en dos vistas ejecutivas con miembros de la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia de la legislatura en febrero y marzo del 2020. En la segunda vista participaron además representantes de agencias gubernamentales con deberes y responsabilidades en la Ley 33-2019. En el 2023, el CEACC envió a la Comisión Conjunta una lista de los recursos naturales ubicados en la Zona Marítimo-Terrestre que deben protegerse y una definición de Zona Marítimo-Terrestre, solicitada por el organismo legislativo.

---

48 Véase: https://www.caricoos.org/?locale=es.
49 Véase: https://www.upr.edu/humacao/itias/itias-geo/#1571402889715-2aeb9bc3-622c.
50 Tellado Domenech, R.N. (6 de diciembre de 2021). Demanda de nuevas profesiones debido al cambio climático. *Primera Hora.*
51 Véase: https://www.paralanaturaleza.org.
52 Véase: https://estuario.org.
53 Véase: https://www.amnistiapr.org/justicia-climatica/
54 Es el caso de los profesores Dr. Rafael Méndez Tejeda, Dra. Maritza Barreto Orta, el ingeniero Carl A. Soderberg y de la meteoróloga Dra. Ada Monzón, como jefa de Meteorología de un departamento de noticias de televisión y de la iniciativa EcoExploratorio.

Entre el 2022 y el 2023, el CEACC participó en otros procesos legislativos, entre ellos, un encuentro con la comisión de Infraestructura, Innovación, Urbanismo y Telecomunicaciones del Senado sobre educación y empoderamiento ante los efectos del cambio climático. También presentó comentarios sobre el borrador del Reglamento Conjunto 2022 ante la consideración de la Junta de Planificación.

Por otro lado, a solicitud del gobernador, el CEACC presentó al país 103 acciones recomendadas para corregir, mitigar y prevenir los efectos del cambio climático en la zona costanera de Puerto Rico. Parte de las recomendaciones publicadas en octubre del 2021 forman parte de la OE-2023-09 citada en la sección 1.1 del P-MARCC. En marzo del 2022, el CEACC recomendó otras 57 acciones en torno al recurso agua.

Otras iniciativas educativas del CEACC se canalizaron a través de medios de comunicación. Es el caso del reportaje especial de la Dra. Ada Monzón sobre las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico, difundido en abril del 2021. El trabajo incluyó múltiples entrevistas a expertos en el tema, quienes acentuaron la necesidad de enfrentar el cambio climático con soluciones que beneficien a las generaciones presentes y futuras. En noviembre de ese año, los miembros del CEACC participaron también en cuatro programas sobre el cambio climático transmitidos por la estación de televisión pública, WIPR.

Además, la tarea de concienciar sobre el cambio climático llevó a que el CEACC estuviera presente en al menos cuatro eventos que abordaron el tema en el 2022. Una de esas actividades la organizó el Instituto Doctrina Social de la Iglesia de la Facultad de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico en Ponce. Otras actividades fueron un panel de política pública durante el evento *2022 LULAC National Convention & Exposition Puerto Rico* y un foro sobre costas organizado por la comisión de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en la Cámara de Representantes.

Ante estos esfuerzos, y otros sobre los que se abunda en la sección 4.12 del Plan, la sociedad puertorriqueña y los componentes del gobierno dan muestras más claras de saber que el cambio climático es una realidad. Queda lograr que ese reconocimiento se traduzca en acciones para proteger la salud, seguridad y bienestar integral de las generaciones presentes y futuras.

Es de esperar que la participación amplia de sectores y la ciudadanía en general en el desarrollo del P-MARCC, su divulgación y su implantación efectiva, particularmente en el contexto educativo, aumentarán el nivel de conocimiento, empoderamiento y respuesta de la sociedad puertorriqueña ante el cambio climático.

## 2.6. Participación pública: la participación ciudadana y de los sectores interesados como parte esencial del desarrollo del Plan

La participación pública es la espina dorsal del P-MARCC y del CEACC. Los actores económicos y sociales son elementos sustanciales en la elaboración del Plan, según establece la Ley 33-2019 desde su declaración de propósitos.

Los diferentes sectores de la población son fundamentales para diseñar políticas públicas que converjan con los saberes, creencias y percepción de los grupos sociales, en todas las escalas geográficas[55]. La participación amplia permite sostener los acuerdos y acelerar las acciones que muevan a Puerto Rico hacia reducir emisiones y adaptarse a los riesgos hasta tener un archipiélago resiliente al cambio climático, en condiciones de generar un desarrollo sostenible.

Es crucial tomar en cuenta lo que las comunidades y poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas tienen que aportar en la creación de soluciones para que las respuestas propicien la justicia climática. Esas poblaciones históricamente ajenas a la toma de decisiones son las más vulnerables a los impactos del cambio climático debido a los niveles de pobreza y desigualdad, y en proporción a ellos[56].

Para viabilizar la participación ciudadana en la confección del P-MARCC, el CEACC emitió, el 28 de marzo de 2022, la primera convocatoria a una vista pública para evaluar el borrador del bosquejo del plan. El aviso público sobre el proceso de vistas expuso su propósito: que los sectores pudieran conocer el contenido del borrador del bosquejo del plan, desarrollado conforme a lo que establece la Ley 33-2019 y al peritaje de los miembros del CEACC. En ese proceso de vistas se interesaba recibir comentarios sobre el contenido del bosquejo y su estructura, en armonía con lo establecido en la Ley 33-2019 y con temas de planificación medulares para llevar a cabo con éxito el desarrollo y la implantación del Plan. El borrador del bosquejo para este documento acompañó la convocatoria. Asimismo, el CEACC divulgó el Protocolo de las vistas citadas para el 29 y 30 de abril de 2022, junto a un formulario electrónico para el registro de deponentes.

Las dos sesiones de vistas públicas se llevaron a cabo en formato virtual, debido a las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19. Durante los dos días de vistas, 18 personas depusieron, la mayoría representantes de organizaciones ambientales y comunitarias[57]. En total se recibieron 128 recomendaciones sobre el bosquejo. El oficial examinador a cargo del proceso presentó otras 25 recomendaciones. El CEACC publicó el informe oficial sobre este proceso el 30 de mayo de 2022[58].

Asimismo, hasta abril del 2023, el CEACC había llevado a cabo 13 talleres, grupos focales y reuniones con representantes de las agencias con responsabilidades y deberes en la Ley 33-2019, organizaciones ambientales, la academia, el sector de la salud y el sector privado. (Véase más en el anejo 2).

---

55 Corona-Jiménez, M. A. (2018). El conocimiento, la percepción y disponibilidad para afrontar el Cambio Climático en una población emergente, los migrantes de retorno. *Estudios Sociales*, 28(52), 1-28. https://doi.org/10.24836/es.v28i52.578

56 Bueno, R., Global Development and Environment Institute, Tufts University. (diciembre de 2017). Puerto Rico, los extremos climáticos y la economía de la resiliencia. *Climate Policy Brief*, No 6, pág. 3.

57 Alvarado León, G.E. (29 de abril de 2022). Entidades apoyan el borrador del bosquejo del plan de cambio climático, pero piden enmiendas. *El Nuevo Día*.

58 Véase el informe en la sección Publicaciones del sitio del CEACC en la página digital del DRNA: https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/06/Informe-del-Oficial-Examinador-—-Vistas-Publicas-CEACC-Borrador-Bosquejo-del-Plan-de-Mitigacion-Adaptacion-y-Resiliencia-al-Cambio-Climatico-6-13-22.pdf

El borrador del P-MARCC se presentó a la ciudadanía el 28 de septiembre del 2023 en una conferencia de prensa donde se anunció la convocatoria a un proceso de vistas públicas a partir del 10 de noviembre de 2023[59] [60] [61] [62] [63] [64]. La presentación se transmitió en directo a través del canal de la UPR-Carolina en la plataforma Facebook[65]. Desde ese día, copias digitales de los dos tomos del P-MARCC estuvieron disponibles al público en la página del DRNA[66]. Copias del documento impreso estuvieron disponibles también en las oficinas regionales de la agencia. El anuncio y la publicación del borrador se hicieron 12 días antes de la fecha establecida para comenzar a recibir comentarios sobre el documento; 43 días previo al comienzo de las vistas públicas. La fecha límite fijada para recibir comentarios fue el 10 de diciembre de 2023. No obstante, ante solicitudes de extender el período para emitir comentarios, la fecha límite se aplazó hasta el 22 de diciembre de 2023.

El CEACC llevó a cabo cinco vistas públicas –en Humacao[67], Ponce[68], Mayagüez[69], Carolina[70] y una en formato virtual[71]–, aun cuando la Ley 33-2009 no lo requiere. Todas las sesiones se transmitieron en vivo a través de la cuenta del DRNA en Facebook. En total, 45 personas se registraron para deponer en las vistas públicas. Además, se recibieron por escrito 26 ponencias de personas y entidades que no se expresaron en las vistas. Esto representó un total de 71 ponencias presentadas por personas y entidades en dicho período. El CEACC evaluó el informe del oficial examinador sobre el proceso de consulta pública en seis reuniones extraordinarias efectuadas desde el viernes 2 de febrero de

[59] Noticentro. (28 de septiembre de 2023). Presentan plan de mitigación y resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico. *WAPA TV.* https://wapa.tv/presentan-plan-de-mitigaci-n-y-resiliencia-ante-el-cambio-clim-tico-en-puerto-rico/video_12c451ff-aa86-5a70-a9a9-1683d42a49d7.html

[60] Notiseis 360. (28 de septiembre de 2023). Puerto Rico abre a la discusión pública estrategias para responder al cambio climático. WIPR TV. https://wipr.pr/puerto-rico-abre-a-la-discusion-publica-estrategias-para-responder-al-cambio-climatico/

[61] Guillama Capella, M. (28 de septiembre de 2023). Comité de Expertos y Asesores presenta su receta para enfrentar el cambio climático en Puerto Rico. *El Nuevo Día.* https://www.elnuevodia.com/ciencia-ambiente/cambio-climatico/notas/comite-de-expertos-y-asesores-presenta-su-receta-para-enfrentar-el-cambio-climatico-en-puerto-rico/

[62] Noticel. (28 de septiembre de 2023). Comité de Expertos sobre Cambio Climático abre a discusión pública borrador con recomendaciones. https://www.noticel.com/ahora/20230928/comite-de-expertos-sobre-cambio-climatico-abre-a-discusion-publica-borrador-con-recomendaciones/

[63] Gracia Mercado, C. (29 de septiembre de 2023). Presentarán plan para Puerto Rico ante cambio climático. *El Vocero.* https://www.elvocero.com/verde/presentar-n-plan-para-puerto-rico-ante-cambio-clim-tico/article_c8289090-5e40-11ee-823b-5f608568785c.html

[64] Santa Porrata, A.I. (29 de septiembre de 2023). Comité de Expertos y Asesores presenta borrador del plan para enfrentar el cambio climático. *Metro*. https://www.metro.pr/noticias/2023/09/29/comite-de-expertos-y-asesores-presenta-borrador-del-plan-para-enfrentar-el-cambio-climatico/

[65] Véase en: https://www.facebook.com/uprcarolinainforma/videos/337901208597481/

[66] Accese: https://www.drna.pr.gov/ceacc/eventos/vistas/#enc-borrador-p-marccpr

[67] Véase en: https://www.facebook.com/drnapr/videos/departamento-de-recursos-naturales-y-ambientales-en-vivo/344333094846998

[68] Véase en: https://www.facebook.com/watch/?v=683284787281963

[69] Véase en: https://www.facebook.com/watch/?v=746773440827231

[70] Véase en: https://www.facebook.com/watch/?v=205606482595972

[71] Véase en: https://www.facebook.com/watch/?v=205606482595972

2024 hasta el lunes 11 de marzo de 2024.

La forma y contenido del P-MARCC se nutre de las recomendaciones recibidas en todas estas actividades.

## 2.7. Justicia climática

La justicia climática es el concepto de que ningún grupo de personas debe recibir de manera desproporcionada la carga de los impactos climáticos o los costos de la mitigación y adaptación[72]. La justicia climática defiende un desarrollo que respete siempre los derechos humanos con un enfoque que sitúe a las personas en el centro[73].

Este concepto tiene componentes procesales y sustantivos, según lo explican Dolšak y Prakash (2022): El primero se refiere a los procesos a través de los cuales se formulan las políticas climáticas. Los "procesos justos incorporan el consentimiento informado a través de la participación pública inclusiva y brindan acceso a remedios para corregir los daños que las políticas pueden imponer a los ciudadanos". Los autores abordan el aspecto sustantivo como las "inequidades observables en la distribución de los beneficios y costos de la acción y la inacción climáticas"[74].

La justicia climática requiere una visión más amplia de lo que conllevan el cambio climático y sus posibles consecuencias. La justicia climática debe asegurar que las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas reciban fondos suficientes para protegerlas de los efectos del cambio climático, por ejemplo, salvaguardar a las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas cercanas a la costa expuestas al aumento del nivel del mar. Otro ejemplo es implantar medidas para que las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas puedan afrontar las olas de calor mediante la climatización de viviendas, instalación de fuentes de energía renovables y la construcción de refugios de enfriamiento.

---

72 Cooley, H., E. Moore, M. Heberger, and L. Allen (Pacific Institute). 2012. Social Vulnerability to Climate Change in California. California Energy Commission. Publication Number: CEC-500-2012-013.

73 Ayuda en Acción. ¿Qué es la justicia climática?

74 Dolšak, N. y Prakash, A. (mayo, 2022). *Three Faces of Climate Justice. Annual Review of Political Science.* Vol. 25:283-301: https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-051120-125514. Los autores utilizan como referencia aquí a Klinsky & Dowlatabadi 2009, Schlosberg & Collins (2014).

# CAPÍTULO 3.

# Emisiones de gases de efecto de invernadero y la situación actual de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico

## 3.1. Escenarios globales: el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC)

El IPCC –como se le conoce por sus siglas en inglés– es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas creado para analizar los datos científicos relacionados con el cambio climático. El propósito es que dicho análisis informe la creación de política pública dirigida a adoptar estrategias de mitigación de riesgos y adaptación a los efectos del cambio climático. Sus recomendaciones más recientes están contenidas en las dos primeras entregas del *Sexto informe de evaluación* (AR6) tituladas *Cambio climático 2021: la base de la ciencia física*[75] y *Cambio climático 2022: impactos, adaptación y vulnerabilidad*[76], y en una tercera publicación presentada el 20 de marzo de 2023 titulada *Informe de síntesis*[77]. Sus hallazgos son pertinentes y relevantes para Puerto Rico.

**Tabla 4.**

*Extractos del Informe del IPCC de 2022*

| Conclusiones destacables |
|---|
| • El IPCC tiene la certeza de que el cambio climático inducido por la actividad humana, incluidos los fenómenos extremos más frecuentes e intensos, causa efectos adversos generalizados, pérdidas y daños a la naturaleza y las personas más allá de la variabilidad natural del clima (*Nivel de confianza: alto*).<br>• Los eventos meteorológicos y climáticos extremos provocan efectos irreversibles a medida que la presión sobre los sistemas naturales y humanos supera sus capacidades de adaptación. (*Nivel de confianza: alto*).<br>• Las personas y los sistemas más vulnerables se perjudican de manera desproporcionada. (*Nivel de confianza: alto*). |

[75] IPCC. (2021): https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport
[76] IPCC. (2022): https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/
[77] IPCC. (2023): https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

**Tabla 5.**

*Conclusiones generales gel Informe del IPCC de 2023*

| Estado actual y tendencias |
|---|
| **El calentamiento observado y sus causas** |
| • Es evidente que las actividades humanas, principalmente las que emiten GEI, han causado el calentamiento global. La temperatura superficial global alcanzó 2 °F DT (1.1 °C), entre 2011 y 2020, por encima del período entre 1850-1900. Las emisiones mundiales de GEI aumentan como consecuencia del uso insostenible de la energía y el cambio en el uso de la tierra, los estilos de vida y las tendencias de consumo y producción en todas las regiones, entre los países, dentro de ellos y entre las personas. (*Nivel de confianza: alto*). |
| **Cambios e impactos observados** |
| • Hay cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera. El cambio climático antropogénico incide ya en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Esto provoca impactos adversos generalizados y pérdidas y daños relacionados con la naturaleza y las personas. Las comunidades vulnerables que históricamente han contribuido menos al cambio climático actual se ven afectadas de manera desproporcionada. (*Nivel de confianza: alto*). |
| **Progreso actual en la adaptación, brechas y desafíos** |
| • Hay progresos en la planificación y acción para la adaptación en todos los sectores y regiones, con beneficios documentados y eficacia variable. A pesar del progreso, hay brechas de adaptación y seguirán creciendo al ritmo actual de realización. Se alcanzan límites de adaptación rígidos y blandos en algunos ecosistemas y regiones. También hay mala adaptación en algunos sectores y regiones. El financiamiento global actual para la adaptación es insuficiente y limita las acciones de adaptación, especialmente en los países en desarrollo. (*Nivel de confianza: alto*). |
| **Progreso actual en la mitigación, brechas y desafíos** |
| • Hay un aumento consistente de políticas y leyes que abordan la mitigación desde el *Quinto Informe*. A la vez, las emisiones globales de GEI implícitas en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) para el 2030 –anunciadas en octubre del 2021– hacen probable que el calentamiento supere los 2.7 °F DT (1.5 °C) durante el siglo XXI y dificulte limitar el calentamiento por debajo de los 3.6 °F DT (2 °C). Hay brechas entre las emisiones proyectadas con las políticas implantadas y las NDC. El financiamiento no alcanza los niveles necesarios para cumplir con las metas climáticas en todos los sectores y regiones. (*Nivel de confianza: alto*). |

## Cambio climático futuro, riesgos y respuestas de largo plazo

### Cambio climático futuro

- Las emisiones continuas de GEI conducirán a un aumento del calentamiento global, con estimados que alcanzan, en el mejor de los casos, 2.7 °F en el corto plazo en escenarios considerados y rutas modeladas. Cada incremento del calentamiento global intensificará los peligros múltiples y concurrentes. Las reducciones significativas, rápidas y sostenidas de las emisiones de GEI conducirían a una desaceleración perceptible del calentamiento global en aproximadamente dos décadas, y a cambios evidentes en la composición atmosférica en pocos años. (*Nivel de confianza: alto*).

### Efectos del cambio climático y riesgos relacionados con el clima

- Para cualquier nivel de calentamiento futuro, muchos riesgos relacionados con el clima son más altos que los evaluados previamente, y los efectos proyectados a largo plazo son hasta varias veces más altos que los observados actualmente (n*ivel de confianza: alto*). Los riesgos y los efectos adversos proyectados y las pérdidas y daños relacionados con el cambio climático aumentan con cada incremento del calentamiento global (n*ivel de confianza: muy alto*). Además, los riesgos climáticos y no climáticos interactuarán cada vez más, creando riesgos compuestos y en cascada que son más complejos y difíciles de manejar (n*ivel de confianza: alto*).

### Probabilidad y riesgos de cambios inevitables, irreversibles o abruptos

- Algunos cambios futuros son inevitables o irreversibles, pero se pueden limitar por una reducción significativa, rápida y sostenida de las emisiones mundiales de GEI. La probabilidad de cambios abruptos o irreversibles aumenta con mayores niveles de calentamiento global. De la misma forma, el riesgo de resultados poco probables asociados a los efectos adversos con alto potencial de severidad aumenta con niveles más altos de calentamiento global. (*Nivel de confianza: alto*).

### Opciones de adaptación y sus límites en un mundo más cálido

- Las opciones de adaptación que son factibles y efectivas hoy se volverán limitadas y menos efectivas con el aumento del calentamiento global. Con más calentamiento, las pérdidas y los daños aumentarán y los sistemas humanos y naturales alcanzarán los límites de adaptación. La mala adaptación (que puede exacerbar las desigualdades existentes) puede evitarse mediante una planificación flexible, multisectorial, inclusiva y de largo plazo, y la implantación de acciones de adaptación, con beneficios colaterales para muchos sectores y sistemas. (*Nivel de confianza: alto*).

### Presupuestos de carbono y cero emisiones netas

- Limitar el calentamiento global causado por las personas requiere neutralidad en carbono (*net zero $CO_2$ emissions*). Las emisiones de carbono acumuladas hasta el momento de alcanzarlo y el nivel de reducción de emisiones de GEI en esta década determinan en gran medida si el calentamiento puede limitarse a 2.7 °F o 3.6 °F. Las emisiones proyectadas de $CO_2$ provenientes de la infraestructura existente a base de combustibles fósiles sin más reducción excederían el presupuesto de carbono restante en 2.7 °F (50 %). (*Nivel de confianza: alto*).

### Rutas de mitigación

- Todas las vías modeladas a nivel global que limitan el calentamiento a 2.7 °F (>50 %) con ningún rebasamiento o uno limitado implican reducciones rápidas y significativas, y en la mayoría de los casos inmediatas, de las emisiones de GEI en todos los sectores en esta década. Las emisiones netas globales de cero $CO_2$ se alcanzan a través de esas alternativas a principios de la década de 2050 y principios de la década de 2070, respectivamente. (*Nivel de confianza: alto*).

### Rebasamiento: La superación del nivel de calentamiento y la vuelta atrás

- Si el calentamiento supera un nivel específico, como 2.7 °F, podría revertirse gradualmente logrando y manteniendo la neutralidad en emisiones de $CO_2$. Esto requeriría un esfuerzo adicional para eliminar carbono, en comparación con las rutas alternas en que no se excede el nivel de calentamiento, lo que generaría mayores preocupaciones de viabilidad y sostenibilidad. Rebasar conlleva efectos adversos, algunos irreversibles, y más riesgos para los sistemas humanos y naturales, todos crecientes con la magnitud y duración del rebasamiento. (*Nivel de confianza: alto*).

## Respuestas en el corto plazo

### Urgencia de una acción climática integrada a corto plazo

- El cambio climático es una amenaza para el bienestar humano y la salud planetaria (*nivel de confianza: muy alto*). Hay una ventana de oportunidad que se cierra rápidamente para asegurar un futuro habitable y sostenible para todos (*nivel de confianza: muy alto*). El desarrollo resiliente al clima integra la adaptación y la mitigación para adelantar el desarrollo sostenible para todos. Este desarrollo es posible mediante una mayor cooperación internacional, incluido un mejor acceso a recursos financieros adecuados, en particular para regiones, sectores y grupos vulnerables, y mediante una gobernanza inclusiva y políticas coordinadas (*nivel de confianza: alto*). Las elecciones y acciones adoptadas en esta década tendrán consecuencias ahora y durante miles de años (*nivel de confianza: alto*).

### Los beneficios de la acción a corto plazo

- La mitigación significativa, rápida y sostenida y la puesta en marcha acelerada de acciones de adaptación en esta década reducirían las pérdidas y daños proyectados para los seres humanos y los ecosistemas (*nivel de confianza: muy alto*) y ofrecerían muchos beneficios colaterales, especialmente para la calidad del aire y la salud. Demorar las acciones de mitigación y la adaptación anclaría la infraestructura generadora de mayores emisiones, aumentaría los riesgos de estancar activos y elevar costos, reduciría la viabilidad y aumentaría las pérdidas y los daños. Las acciones a corto plazo implican altas inversiones iniciales y cambios potencialmente disruptivos que pueden reducirse con políticas favorables. (*Nivel de confianza: alto*).

### Opciones de mitigación y adaptación a través de los sistemas

- Se necesitan transiciones rápidas y de gran alcance a través de todos los sectores y sistemas para lograr reducciones significativas y sostenidas de emisiones y garantizar un futuro habitable y sostenible para todos. Estas transiciones de sistemas implican una ampliación significativa de la cartera de opciones de mitigación y adaptación. Hay opciones factibles, efectivas y de bajo costo disponibles para mitigar y adaptar, con diferencias entre sistemas y regiones. (Nivel de confianza: alto).

**SINERGIAS Y COMPENSACIONES CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

- La acción acelerada y justa para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático es crítica para el desarrollo sostenible. Las acciones de mitigación y adaptación tienen más sinergias que inconvenientes con los Objetivos de Desarrollo Sostenible; dependen del contexto y el nivel de ejecución. (Nivel de confianza: alto).

**EQUIDAD E INCLUSIÓN**

- Priorizar la equidad, la justicia climática, la justicia social, la inclusión y los procesos de transición justa puede permitir la adaptación y las acciones ambiciosas de mitigación, así como el desarrollo resiliente al clima. Un mayor apoyo a las regiones y las personas con más vulnerabilidad a los peligros climáticos refuerza los resultados de la adaptación. Integrar la adaptación climática en los programas de protección social mejora la resiliencia. Hay muchas opciones disponibles para reducir el consumo intensivo en emisiones (esto es, el consumo de bienes y productos que generan más huella de carbono), incluso a través de cambios de comportamiento y estilos de vida, con beneficios colaterales para el bienestar de la sociedad. (*Nivel de confianza: alto*).

**GOBERNANZA Y POLÍTICAS**

- La acción climática efectiva es posible con el compromiso político, la gobernanza multinivel bien alineada, los marcos institucionales, las leyes, las políticas y las estrategias y un mayor acceso a la financiación y la tecnología. Los objetivos claros, la coordinación entre múltiples esferas políticas y los procesos de gobernanza inclusivos facilitan una acción climática efectiva. Los instrumentos regulatorios y económicos pueden facilitar reducciones significativas de emisiones y resiliencia climática si se aplican ampliamente. El desarrollo resiliente al clima se beneficia de aprovechar la diversidad de conocimientos. (*Nivel de confianza: alto*).

**FINANZAS, TECNOLOGÍA Y COOPERACIÓN INTERNACIONAL**

- Las finanzas, la tecnología y la cooperación internacional son facilitadores fundamentales para acelerar la acción climática. Tanto la financiación de la adaptación como la de mitigación tendrían que multiplicarse por mucho si se quieren alcanzar los objetivos climáticos. Hay capital global suficiente para cerrar las brechas de inversión global, pero existen barreras para redirigir el capital a la acción climática. Mejorar los sistemas de innovación tecnológica es clave para acelerar la adopción generalizada de tecnologías y prácticas. También, es posible mejorar la cooperación internacional a través de múltiples canales. (*Nivel de confianza: alto*).

## 3.2. Escenarios climáticos en Puerto Rico

El clima en el Caribe estadounidense está cambiando y se proyecta que sea cada vez más variable a medida que los niveles de GEI aumenten en la atmósfera, afirma la *Cuarta evaluación nacional del clima* del Programa de Estados Unidos para la Investigación sobre el Cambio Mundial, en su capítulo 20 sobre esta región[78]. El informe confirma que el alto porcentaje de área costera con respecto al área terrestre total de las islas caribeñas hace a gran parte de los habitantes, la infraestructura y la actividad económica en la región vulnerables al alza en el nivel del mar, el aumento en la frecuencia de lluvias intensas y las inundaciones costeras asociadas, así como a la intrusión de agua salada en los acuíferos. Específicamente sobre Puerto Rico, indica que la infraestructura crítica es vulnerable a los efectos del aumento en el nivel del mar, las marejadas ciclónicas y las inundaciones. Esto incluye tuberías y estaciones de bombeo de agua potable, tuberías y estaciones de bombeo de drenaje, plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas generadoras de energía.

Los altos niveles de exposición y sensibilidad a riesgo en la región se complican por la baja capacidad de adaptación, atribuida en parte a los altos costos de mitigar y adaptar en relación con el producto interno bruto de la zona, cuando se compara con las áreas costeras continentales de Estados Unidos, añade el documento. “La limitada escala geográfica y económica de las islas del Caribe significa que las alteraciones causadas por eventos extremos relacionados con el clima, como las sequías y los huracanes, pueden devastar grandes porciones de las economías locales y causar daños extensos a cultivos, suministros de agua, infraestructura y otros recursos y servicios críticos”, sostiene.

El resumen de la *Cuarta evaluación nacional del clima* destaca que la mayoría de los países y territorios del Caribe “comparten la necesidad de evaluar riesgos, permitir acciones a través de escalas y evaluar los cambios en los ecosistemas para informar la toma de decisiones sobre la protección del hábitat en un clima cambiante. Las islas estadounidenses en el Caribe tienen el potencial para mejorar las acciones de adaptación y mitigación al fomentar colaboraciones más sólidas con iniciativas caribeñas sobre el cambio climático y la reducción de riesgos en desastres”.

## 3.3. Situación actual de las emisiones de gases de efecto de invernadero en Puerto Rico

Puerto Rico tiene una huella de carbono pequeña en relación con las regiones continentales y las naciones desarrolladas, de acuerdo con el informe más reciente del PRCCC sobre el estado del clima. No obstante, el documento indica que el territorio ocupa el puesto 19 entre los 38 países de América Latina y el Caribe con las mayores emisiones de $CO_2$. El informe acentúa que “mitigar el cambio climático es una responsabilidad compartida, y cuantificar las emisiones de GEI y el almacenamiento de carbono es im-

[78] USGCRP, 2018: *Impactos, Riesgos, y Adaptación en los Estados Unidos: Cuarta Evaluación Nacional del Clima, Volumen II: Informe Resumido* [Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, B.C. Stewart, and A. Lustig (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 187 pp. doi: 10.630/NCA4.2018.RiBSpanish.

portante para alcanzar los objetivos y alinear las mejores prácticas de mitigación con las condiciones e incentivos locales, el financiamiento, las regulaciones y las prioridades identificadas a nivel nacional y multinacional".

Puerto Rico careció de un inventario de emisiones de GEI durante casi diez años. Como se indica en el capítulo 1, el informe que se tuvo disponible en los pasados años databa de septiembre del 2014. En cumplimiento con el artículo 10 de la Ley 33-2019, el DRNA, con el apoyo del CEACC, comisionó la realización de un nuevo inventario de GEI, cuyo informe final está accesible desde el 30 de junio del 2023 en la sección Publicaciones del sitio digital del CEACC[79].

El *Informe de referencia de gases de efecto de invernadero* (2014) evaluó las emisiones de GEI y los sumideros antropogénicos –o almacenamientos de carbono– desde el 1990 al 2035[80]. La evaluación estableció entonces que las principales emisiones provenían de la producción de energía, asociadas principalmente a la quema de combustibles para producir electricidad; del transporte, por vía de la combustión de gasolina de vehículos en las carreteras; y de industrias, en general, provenientes de la quema de carbón y gas. El más reciente *Informe del inventario de gases de efecto de invernadero de Puerto Rico 2019 y 2021* revela un aumento leve en las emisiones del sector energético y emisiones de transporte ligeramente más bajas que las del 2014. El análisis evaluó las emisiones de GEI y los sumideros antropogénicos –o almacenamientos de carbono– para los años 2019 y 2021. La evaluación estableció que las principales emisiones provenían del suministro eléctrico (52 % del total de emisiones al 2021), asociado principalmente a la quema de combustibles para producir electricidad; del transporte (26 % del total de emisiones al 2021), por vía de la combustión de gasolina de vehículos en las carreteras; y de la gestión de residuos (8 % del total de emisiones al 2021), en general, provenientes del tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales producidos por residencias, comercios, instituciones e industrias.

El informe indica que los niveles de emisión alcanzados en el 2021 representan una reducción del 36 % respecto a los niveles del 2005. Las emisiones sumaron 33.4 millones de toneladas métricas (MTM) de equivalentes de dióxido de carbono ($CO_2e$) en el 2019 y 34.3 MTM de $CO_2e$ en el 2021. El cálculo se basa en los potencia de calentamiento global (GWP) del *Sexto Informe de Evaluación* (AR6) del IPCC y descuenta el secuestro de emisiones de la silvicultura y otros usos de tierra. Quedan por encontrar otros 7.7 MTM de CO2e para eliminar, de forma que se alcance la meta de la Ley 33-2019 que requiere que, para el 2025, las emisiones de GEI en Puerto Rico no superen los 26.7 MTM.

El estudio proyectó también las tendencias futuras de las emisiones hasta el año 2041, a base de las previsiones claves como cambios demográficos y de crecimiento económico. En ese sentido, se prevé un descenso en las emisiones en los siguientes 20 años, suponiendo que el uso de combustibles y las emisiones disminuirán en proporción a la disminución de la población de Puerto Rico, así como el cierre de la central eléctrica de carbón de AES y su proyectada sustitución por generación eléctrica renovable.

79 Véase en: https://www.drna.pr.gov/noticias/inventario-gei-2019-2021/
80 DRNA, 2014.

El informe explora otras situaciones futuras en las que el descenso de emisiones de GEI se proyectan de manera más drástica. Un escenario de huracanes severos proyecta graves impactos económicos y ambientales, lo que generaría un menor uso de combustible y una pérdida importante de cobertura arbórea que provoca una menor captura de carbono. Asimismo, se proyecta un escenario de descarbonización, que consiste en proyectar la tendencia de emisiones cero al 2050, y al desarrollo intensivo de mecanismos forestales para la captura de carbono. Esta proyección indica que se lograría superar el objetivo inicial de reducción que se establece en el artículo 5 de la Ley 33-2019 en el 2028.

## 3.4. Manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico

El cambio climático en Puerto Rico se manifiesta a través de diversos indicadores. Uno de los más notorios es el aumento de la temperatura. En las últimas décadas, hubo un aumento constante en la temperatura media anual, lo que ha llevado a una mayor frecuencia e intensidad de los eventos de temperatura extrema y a una reducción en las lluvias. Además, el alza de la temperatura a nivel global acelera el derretimiento de los glaciares y aumenta el nivel del mar, produciendo más riesgo local de inundaciones costeras.

Otro efecto de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico es el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos, como los huracanes, las tormentas tropicales y sequías. En los últimos años, el país ha sufrido varios huracanes devastadores, como el huracán María en el 2017, que causó grandes daños en la infraestructura y en la agricultura. También ha habido un aumento en la frecuencia de sequías, lo que afecta la disponibilidad de agua.

Asimismo, el cambio climático tiene efectos sobre la biodiversidad de Puerto Rico. Las especies nativas –como los coquíes y los hurones de cola larga– están amenazadas por el cambio climático. La degradación de los ecosistemas, la pérdida de hábitats naturales y la invasión de especies exóticas son otros de los efectos del cambio climático a nivel local. La sección 4.9 abunda al respecto.

Además, el cambio climático repercute en la economía de Puerto Rico. La agricultura, el turismo y la pesca son algunos de los sectores más perjudicados por los cambios acelerados del clima. El aumento de la temperatura y la reducción de las lluvias tienen efectos sobre la producción agrícola (ver la sección 4.6), mientras que los eventos climáticos extremos impactan la infraestructura turística y la pesca.

Los modelos climáticos son herramientas útiles para ayudarnos a comprender cómo puede cambiar el clima en el futuro, pero presentan también ciertos desafíos e incertidumbres. En el caso de Puerto Rico, la incertidumbre en los modelos de cambio climático puede asociarse con la resolución espacial, la disponibilidad de datos históricos, la complejidad del clima local y la variabilidad natural del clima. A pesar de estas incertidumbres, los modelos climáticos siguen siendo una herramienta valiosa para entender cómo podría cambiar el clima en Puerto Rico, ya que proveen unas proyecciones que nos pueden ayudar a planificar medidas de adaptación y mitigación. Sin embargo, es importante reconocer sus limitaciones y considerar múltiples escenarios para tomar de-

cisiones informadas. Se le exhorta a la comunidad científica en Puerto Rico a que siga realizando estudios sobre el uso de modelos climáticos que ayuden a entender mejor cómo el cambio climático se manifiesta en nuestra región.

### 3.4.1. Temperatura atmosférica superficial

Las temperaturas en Puerto Rico y las Islas Vírgenes aumentaron casi 2 °F desde el 1950, sostiene el primer mensaje clave del *Resumen del estado del clima 2022 para Puerto Rico y las Islas Vírgenes Estadounidenses*. En un escenario de más emisiones, se pronostica un calentamiento sin precedentes en este siglo, incluyendo un aumento en los eventos de calor extremo.

#### *3.4.1.1. Tendencias y proyecciones de las temperaturas atmosféricas*

La temperatura promedio anual (normal entre 1991 y 2020) era de 81 °F, de acuerdo con el *Resumen*. El número de días muy calurosos no presentó tendencias en ese período, pero las noches sumamente cálidas estuvieron en general por encima del promedio desde el 2000, añade el documento. La mayor cantidad se produjo a partir del 2015. El informe indica que el efecto isla de calor urbano provocó un aumento de la temperatura en la zona metropolitana de San Juan más rápido que en el resto de las islas.

Se proyecta que el calentamiento rebase los niveles históricos durante este siglo. Las proyecciones más frías para fines de siglo son unos 2 °F más cálidas que el promedio histórico, en un escenario con menos emisiones de GEI. Asimismo, en escenarios de emisiones más altas, las proyecciones más cálidas para fin de siglo son unos 7 °F más cálidas que el año más caluroso en el registro histórico, indica el informe[81].

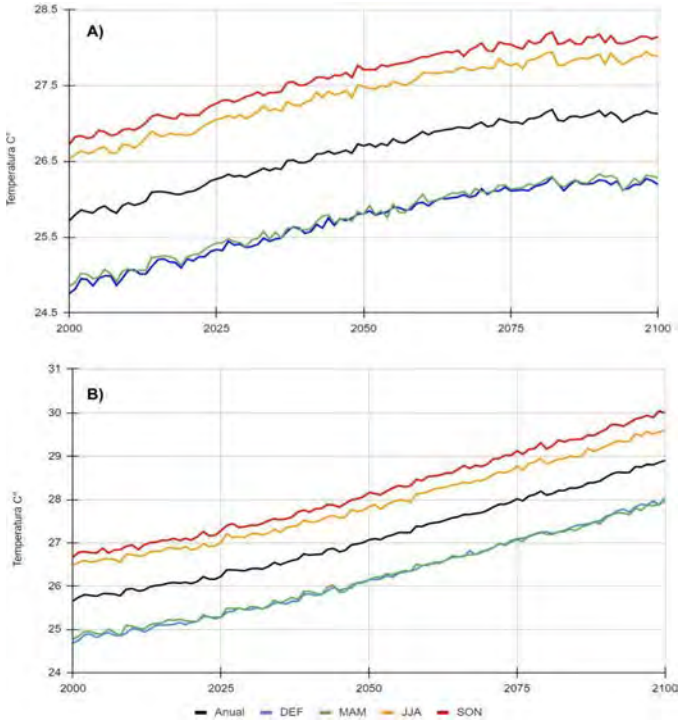
Cuando examinamos dos de los modelos más actualizados basados en las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) de temperatura superficial para la región de Puerto Rico (Ilustración 4), podemos observar que en el escenario RCP 4.5 (escenario de estabilización de GEI) se proyecta un aumento de 3.1 °F en la temperatura anual promedio. En el RCP 8.5 (con un nivel muy alto de emisiones de GEI) podría aumentar hasta 5.8 °F. Las proyecciones de aumentos de temperatura promedio para los meses más calurosos (junio a noviembre) serían aún más significativas, con el RCP 8.5 anticipando un aumento de 6 °F. Estos modelos nos muestran que, tanto en escenarios de estabilización como en escenarios de niveles altos de emisiones, se espera que la temperatura promedio en Puerto Rico aumente significativamente cuando la comparamos con las temperaturas que se experimentaron a principios del siglo XXI.

Hay varias limitaciones en las proyecciones de temperatura por el cambio climático en Puerto Rico. En primer lugar, es difícil hacer proyecciones precisas a largo plazo debido a la complejidad del clima y la falta de datos históricos suficientes. Además, las proyecciones se basan en modelos climáticos globales, que pueden no capturar completamente las características regionales y locales del clima de Puerto Rico.

81 State Climate Summaries.

**Ilustración 4.**

*Trayectorias de concentración representativas de temperatura superficial promedio para Puerto Rico*




Trayectorias de concentración representativas de temperatura superficial promedio para Puerto Rico por temporada para el RCP 4.5 (A), escenario de estabilización de GEI y el RCP 8.5 (B), escenario de altos niveles de emisiones de GEI. Fuente: CEACC

Otra limitación es la variabilidad natural del clima, que puede enmascarar los efectos del cambio climático en el corto plazo. Por ejemplo, los eventos de El Niño y La Niña pueden producir períodos de clima más cálido o frío. También, las variaciones en la actividad solar pueden afectar el clima. Esto hace que sea difícil determinar qué parte de la variabilidad del clima se debe al cambio climático y qué parte es natural.

Además, existen incertidumbres en las emisiones futuras de GEI, ya que dependen de muchos factores, incluyendo el crecimiento económico, las políticas energéticas y tecnológicas y los cambios en el comportamiento humano. Las proyecciones de temperatura pueden afectarse también por factores como la urbanización y la deforestación, que pueden alterar la radiación solar y la evaporación en una región determinada.

### *3.4.1.2. Episodios de calor extremo*

Los resultados de un estudio publicado en mayo de 2017 muestran que el número de días con temperaturas superiores a 89.6 °F aumentó, y el número de días con una tem-

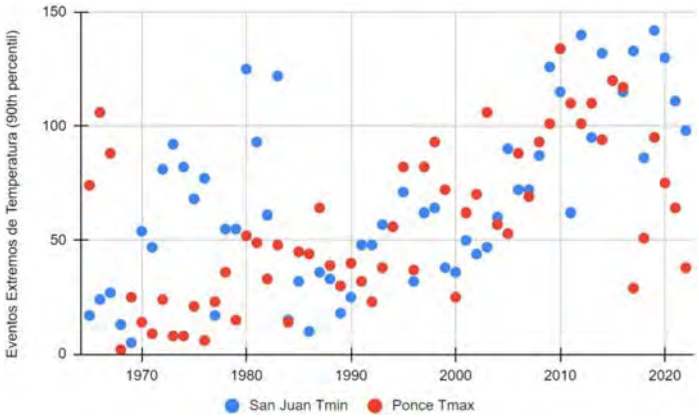
peratura mínima de 59 °F disminuyó[82]. El estudio encontró también que la temperatura media en Puerto Rico aumentó en 36.03 °F en el período analizado y que el aumento de la temperatura mínima es más del doble que el aumento de la temperatura máxima en el período analizado. Uno de los hallazgos más importantes del estudio es que el número de días con temperaturas superiores a 89.6 °F es tres veces más que el número de días con temperaturas inferiores a 59 °F.

En febrero de 2017, otro estudio documentó que "el aumento de la frecuencia y la duración de los episodios de calor intenso están provocando más problemas cardiovasculares y respuestas asmáticas entre la población de San Juan"[83]. El efecto de isla de calor urbano conduce a focos de temperaturas más altas en algunas áreas urbanas. El estudio advirtió que un efecto de isla de calor urbano puede aumentar la mortalidad relacionada con el calor.

Cuando utilizamos los datos más recientes de temperatura diaria para analizar la tendencia en días de calor extremo, podemos observar que tanto las temperaturas máximas como las mínimas muestran incrementos en el número de eventos (Ilustración 5). En San Juan observamos un incremento estadísticamente significativo en el número de eventos extremos de temperatura mínima (78 °F) desde el 1965 hasta el 2022.

**Ilustración 5.**

*Eventos de temperatura mínima y máxima en o por encima del percentil 90 para estaciones ubicadas en San Juan y Ponce*




Fuente de la gráfica: CEACC

82 Méndez-Tejeda, R. (2017). *Increase in the number of hot days for decades in Puerto Rico 1950–2014*. *Environment and Natural Resources Research*, 7(3), 16-26.

83 Méndez-Lázaro, P., Muller-Karger, F.E., Otis, D. *et al. A heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan, Puerto Rico*. Int J Biometeorol 62, 709–722 (2018). https://doi.org/10.1007/s00484-017-1319-z. Este estudio identificó que los tramos clasificados como más calientes y vulnerables correspondieron a áreas altamente construidas, incluido el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín, puertos marítimos, estacionamientos y áreas residenciales de alta densidad. Según el informe, un conjunto de variables contribuyó a aumentar la vulnerabilidad, incluidas tasas más altas de población que vive sola, personas con discapacidades, personas de edad avanzada y falta de cubierta de seguro médico. Las áreas más frescas correspondieron a paisajes con vegetación y cuerpos de agua urbanos.

Por ejemplo, en la década del 1971-1980, San Juan experimentó un promedio de 70 días con temperatura mínima en o por encima de 78 °F. En la década del 2011-2020 el número de eventos extremos promedió 115.5 días, un incremento de 45.5 días entre los dos períodos. En el caso de Ponce, se observa un incremento en el número de eventos extremos de temperatura máxima (92 °F), en especial durante el período de 1980-2015. La década del 2011-2020 promedió 68 días más de calor extremo que la década del 1971-1980, a pesar de que en los últimos años los eventos de temperatura máxima extrema disminuyeron.

#### *3.4.1.3. Fuegos en bosques y pastizales*

La temporada de incendios forestales en Puerto Rico se extiende desde el 2 de febrero hasta el 30 de agosto. La combinación de altas temperaturas, niveles bajos de humedad relativa y el viento son factores que propician su inicio y propagación.

En un análisis sobre el impacto de los incendios forestales en Puerto Rico para el período 2013-2014, se reportó que los factores climatológicos analizados incluyeron precipitación, temperatura, humedad relativa y viento. Los incendios forestales de origen natural suelen originarse por rayos y tormentas eléctricas, especialmente cuando no van acompañados de lluvia. Sin embargo, pueden ser también consecuencia de causas antropogénicas; es decir, incendios ocasionados por la actividad humana en las montañas y bosques, ya sea por no tomar las precauciones necesarias o por accidentes.

El análisis encontró que aproximadamente el 40 % de los incendios forestales se producen en el período nocturno (5:00 p. m. a 8:00 a. m.), cuando las condiciones climáticas no favorecen que ocurran estos fenómenos. En el 2013 hubo un aumento de incendios de 44 % con respecto al 2014, ocasionando una pérdida económica de $13.8 millones[84].

En el 2020 se reportaron 2,077 incendios en Puerto Rico. De estos, 97 ocurrieron en enero, según portavoces del Cuerpo de Bomberos[85]. En enero del 2021 hubo 240 incendios más que el año anterior, para un total de 337 incendios forestales en ese mes. El año terminó con 4,012 siniestros forestales[86]. El 2022 cerró con 2,522 fuegos forestales[87].

---

[84] Méndez-Tejeda, R.; Santos-Corrada, M.; Ortiz-Morales, S. and Claudio-Vargas, O. (2015) *Environmental and Economic Impact of Forest Fires in Puerto Rico 2013-2014*. *Open Journal of Forestry*, 5, 353-363. doi: 10.4236/ojf.2015.54030.

[85] El informe publicó bajo la firma de José M. Martínez Santana, identificado como coordinador de la Brigada Forestal Oeste del Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico. (10 de febrero de 2021). https:// laislaoeste.com/responde-a-la-temporada-de-fuegos-forestales/.

[86] Estadística anual, 2021, Negociado del Cuerpo de Bomberos, Departamento de Seguridad Pública. Gobierno de Puerto Rico.

[87] Estadística anual, 2022 (actualizado hasta el 31 de diciembre de 2022). Negociado del Cuerpo de Bomberos, Departamento de Seguridad Pública. Gobierno de Puerto Rico.

### 3.4.2. Tendencias y proyecciones de precipitación

El segundo mensaje clave del *Resumen del Estado del Clima 2022* indica que los cambios futuros en las precipitaciones totales son inciertos, pero se prevé que los eventos extremos de lluvia aumentarán, causando inundaciones más intensas y frecuentes.

El número más alto de eventos extremos de precipitación de 3 pulgadas se registró a principios de la década del 2010, de acuerdo con el informe citado. Desde mediados de mayo hasta mediados de junio del 2011, Puerto Rico y las Islas Vírgenes tuvieron un período prolongado de lluvias torrenciales e inundaciones no relacionado con un ciclón tropical. Varios lugares recibieron el doble o hasta cuatro veces la lluvia normal durante ese período. Hubo inundaciones considerables en todo Puerto Rico, con la excepción de la región suroeste, según el análisis.

Como veremos más adelante en las secciones 3.4.3.1 y 3.4.3.4, en el 2022, al menos tres sistemas atmosféricos –dos frentes de frío en febrero y marzo, y el huracán Fiona en septiembre– dejaron pérdidas millonarias por inundaciones sin precedentes en Puerto Rico a causa de la cantidad de lluvia. No obstante, la isla estuvo bajo patrones de sequía desde mayo del 2020[88], indican los informes del Monitor de Sequía de Estados Unidos.

En el 2015, el archipiélago experimentó el evento de sequía más severo que afectó a la región del Caribe en 66 años, cuya intensidad se ha relacionado con el cambio climático debido al aumento de las temperaturas atmosféricas observadas, resume el documento[89].

Por otro lado, durante el período de 2018 a 2020, los eventos de sequía ocasionaron reducción en los niveles de los embalses de las zonas este y sur del país, disminución en los niveles de los acuíferos, muerte de ganado y pérdidas en la industria agrícola, de acuerdo con el *Informe sobre los eventos de sequía*[90], preparado por el DRNA. “Esto provocó la necesidad de llevar a cabo racionamiento del servicio de agua a la población, la activación de los comités de sequía y de acuíferos del sur, implantación de un plan de manejo para la cuenca del Río Grande de Loíza, solicitud de dragado del embalse Loíza, solicitud y desarrollo de proyectos que se suplan de agua superficial para la zona sur, actualización del Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico, distribución de fondos de emergencia entre los agricultores, entre otros”, según el documento oficial.

El primer mensaje clave de la *Cuarta evaluación nacional del clima* referente al Caribe estadounidense es que se proyecta que el incremento en las emisiones globales de carbono reduzca la precipitación pluvial media en esta región para fines de siglo. El capítulo 20 del informe explica que esto limitaría la disponibilidad de agua dulce. Al mismo tiempo, se prevé que aumente la intensidad de los eventos de lluvia extrema, que pueden acrecentar los efectos de las inundaciones de agua dulce. El alza en la variabilidad de los eventos de lluvia y los aumentos de temperatura alterarán la distribución de las zonas de

88 Tolentino Rosario, C. (4 de enero de 2022). Puerto Rico sigue bajo patrones de sequía desde mayo de 2020. *El Nuevo Día.* https://www.elnuevodia.com/noticias/el-tiempo/notas/puerto-rico-sigue-bajo-patrones-de-sequia-desde-mayo-de-2020/.

89 Herrera y Ault, 2017.

90 Véase: https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2021/02/Informe-Sequia-2018-2020_Final_Res.pdf.

vida ecológicas y exacerbarán los problemas actuales de gestión, planificación e infraestructura del agua, añade la evaluación.

La correlación entre el aumento en las emisiones de GEI y la reducción de las lluvias se establece también en el informe del PRCCC del 2022. Según sus proyecciones: las disminuciones en el promedio de precipitaciones anuales sobre el Caribe para mediados de siglo (2041-2060) oscilarían del 1 % al 6 % para los respectivos escenarios de menos y más emisiones. Cuando se reduce la escala de los modelos climáticos globales para comprender los posibles escenarios futuros de lluvia en Puerto Rico se confirma un cambio a condiciones más secas a medida que aumentan las concentraciones de GEI, indica el documento. Algunas proyecciones centradas en mediados del siglo indican reducciones superiores al 20 % para muchos lugares del archipiélago[91].

Un análisis realizado por miembros del CEACC nos muestra las tendencias en lluvia anual, por temporada y diaria en Puerto Rico. Este análisis se enfocó en identificar áreas donde la lluvia promedio anual y estacional está en aumento, disminuye o permanece normal. La precipitación total promedio anual y estacional se recuperó de 23 pluviómetros históricos con datos consistentes para el período 1956-2021. Se realizaron pruebas de tendencias de Mann-Kendall en las series de lluvias anuales y estacionales para determinar si alguno de los sitios está experimentando tendencias crecientes o decrecientes.

Luego, los datos de lluvia anual y estacional se separaron en dos climatologías diferentes (1956-1987 y 1988-2021) para examinar los cambios que ocurrieron de un período al siguiente. Después, las dos climatologías diferentes se compararon para identificar las áreas que experimentaron reducciones o aumentos anuales o estacionales de las lluvias.

Se calculó el número de días de lluvias extremas (percentil 90) para cada sitio y se empleó el análisis de tendencias de Mann-Kendall (MK) para determinar si hubo cambios.

Los datos de precipitaciones mensuales y diarias para el período 1956-2021 se obtuvieron del Centro Nacional de Información Ambiental. Se seleccionaron estaciones con al menos el 90 % de los datos; 23 estaciones históricas cumplieron con ese requisito. A partir de los datos mensuales se calculó la precipitación total anual y de los totales de lluvia mensual se calculó la lluvia estacional y se produjeron tres series estacionales: la estación seca (diciembre-marzo), la estación húmeda temprana (abril-julio) y la estación húmeda tardía (agosto-noviembre). Es bien sabido en la literatura que Puerto Rico tiene una estación húmeda y una estación seca muy definidas[92], por lo que en este estudio la estación húmeda se dividió en temprana y tardía para capturar los cambios que podrían haber ocurrido en la anterior o meses luego de la temporada[93].

Los resultados de la prueba de tendencias MK para la precipitación anual sobre Puerto Rico exhibieron estaciones con tendencias crecientes y decrecientes. La mayoría de los sitios (15) mostraron tendencias negativas en la precipitación anual, y cinco de esas

91 Colón, J. A. (2009). *Climatología de Puerto Rico*. University of Puerto Rico Press.
92 Colón, 2009.
93 Hernández y Heslar. 2018.

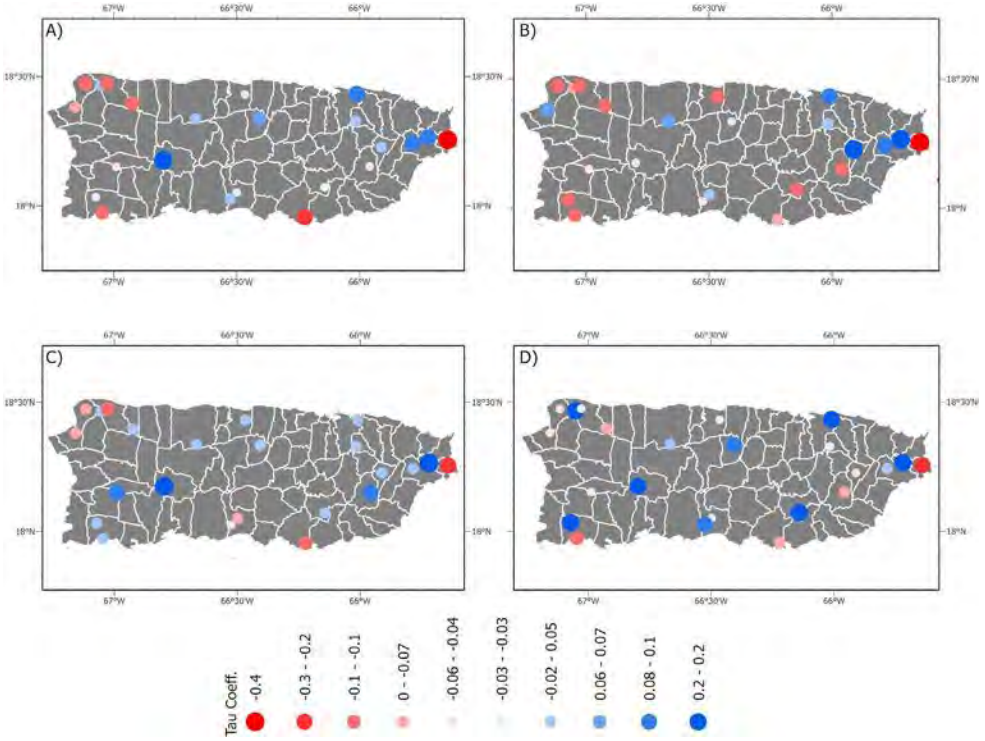
estaciones exhibieron tendencias estadísticamente significativas (Ilustración 6)[94]. De las nueve estaciones con tendencias positivas en precipitación anual, solo una (Adjuntas) tuvo una tendencia estadísticamente significativa.

La región noroeste mostró la mayor cantidad de estaciones con tendencias de reducción en la lluvia anual. Los dos sitios con las tendencias decrecientes más significativas en la lluvia anual se ubicaron en las regiones sureste y noreste. La región este tuvo la mayor cantidad de estaciones con tendencias a más lluvia anual, con tres de los sitios con tendencias estadísticamente significativas ubicados en el noreste y uno en la región interior occidental.

Se encontró que las tendencias de la lluvia de la estación seca eran muy similares a las de la precipitación anual, con 13 estaciones mostrando tendencias a menos lluvia y 10 exhibiendo tendencias a más (Ilustración 6b). Se encontró que tres estaciones tenían tendencias negativas estadísticamente significativas; un sitio tenía tendencias significativamente positivas. El noroeste, suroeste y sureste de Puerto Rico tuvieron varias estaciones con tendencias a menos lluvia en la estación seca. El noreste fue la región con la mayoría de los sitios que mostraron tendencias a más lluvia.

**Ilustración 6.**

*Pruebas de tendencias de Mann-Kendall para lluvia anual (A), temporada seca (B), temporada húmeda temprana (C) y temporada húmeda tardía (D) sobre Puerto Rico*




Fuente de la gráfica: CEACC

94 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019). "Examining the spatiotemporal characteristics of droughts in the Caribbean using the standardized precipitation index (SPI)." *Climate Research*, *78*(2), 103-116. DOI:10.3354/cr01562

La lluvia de la estación seca en Puerto Rico es principalmente el producto de procesos atmosféricos que incluyen frentes fríos y vaguadas de gran altitud que generan un patrón de lluvia de oeste a este[95]. Investigaciones previas sobre el tema encontraron que las lluvias de la estación seca sobre Puerto Rico están fuertemente correlacionadas negativamente con teleconexiones como la NAO y la Oscilación del Ártico (AO)[96], modos de variabilidad que influyen en la frecuencia y extensión de incursiones de frentes fríos en el Caribe[97].

Los resultados para la temporada de lluvia temprana (abril-julio) muestran más estaciones con tendencias positivas (13) en precipitación que aquellas con tendencias decrecientes (10). Cuatro de las estaciones con tendencias crecientes exhibieron aumentos estadísticamente significativos en las lluvias tempranas de la estación húmeda, con los sitios ubicados en las regiones interiores nororiental y occidental (Ilustración 6c). De las 10 estaciones que exhibieron tendencias negativas, solo tres tuvieron precipitaciones decrecientes estadísticamente significativas para la estación seca temprana, con un sitio ubicado en el noroeste, uno en el sureste y otro en la región este.

De manera similar a los patrones identificados en los mapas de tendencias de precipitaciones anuales y de la estación seca, la estación húmeda temprana muestra que las regiones del noroeste, sur y extremo este son las áreas que están experimentando una tendencia de menos lluvia. La temporada de lluvia tardía (agosto-noviembre) exhibió la mayoría de las estaciones (6) con tendencias crecientes estadísticamente significativas en las precipitaciones. En general, diez sitios mostraron tendencias positivas en la lluvia de finales de la estación húmeda; trece sitios mostraron tendencias negativas. De las estaciones con tendencias a menos precipitaciones de finales de la temporada de lluvias, solo dos mostraron tendencias estadísticamente significativas: en las regiones suroeste y extremo este (Ilustración 6d).

Estudios previos que examinaron la variabilidad de las precipitaciones sobre Puerto Rico han demostrado que las lluvias de la estación húmeda están fuertemente correlacionadas con la fase cálida de la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)[98]. Las aguas tropicales del Atlántico norte son más cálidas de lo normal durante la fase cálida de la AMO. Esto conduce a mayores tasas de evaporación y mayor contenido de humedad en la región. El mayor contenido de humedad durante las fases más cálidas del AMO se manifiesta luego en mayores acumulaciones de precipitación en Puerto Rico durante los últimos meses de la temporada de lluvias.

Los meses de fin de temporada se caracterizan también por el desarrollo y progresión de olas del este y ciclones tropicales que traen lluvia abundante[99]. Investigaciones recientes sugieren que el número total de ciclones tropicales y grandes huracanes ha aumentado desde mediados de la década de 1960, y que las últimas tres décadas tuvieron el mayor

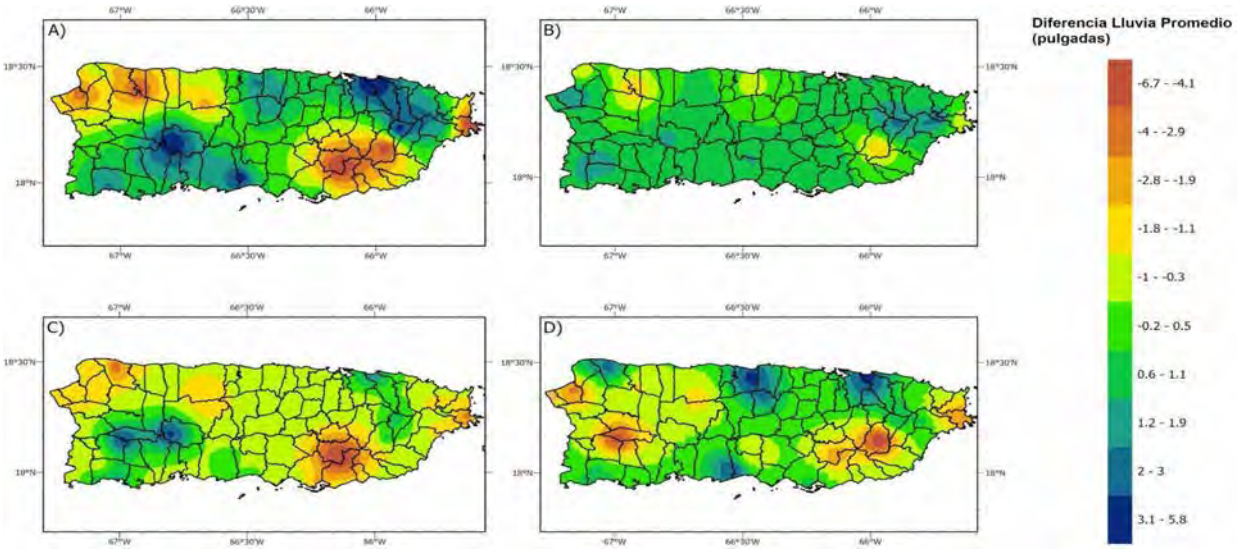
95 Colón, 2009.
96 Hernández, 2018.
97 Torres-Valcárcel, A.R. (2018). "Teleconnections between ENSO and rainfall and drought in Puerto Rico." *Int. J. Climatol.*, 38, e1190-e1204. https://doi.org/10.1002/joc.5444.
98 Hernández, 019.
99 Colón, 2009.

número de tormentas tropicales[100]. Una posible explicación del aumento de la precipitación en esas estaciones durante los últimos meses de la temporada de lluvias es la mayor cantidad de ciclones tropicales que han afectado a Puerto Rico en las últimas décadas.

Cuando se examinan las diferencias entre las climatologías de 1955-1987 y 1988-2021, encontramos que algunas regiones de Puerto Rico han experimentado una disminución o un aumento en la lluvia anual y estacional promedio (Ilustración 7). La precipitación promedio anual ha disminuido en el noroeste y regiones al sureste del extremo oriente (Ilustración 7a). Estos resultados coinciden con los de las pruebas de tendencia MK para lluvias anuales.

**Ilustración 7.**

*Diferencias en las climatologías de lluvia entre el período 1955-1987 y el período 1988- 2021 para las precipitaciones anuales (a), temporada seca (b), temporada lluviosa temprana (c) y temporada lluviosa tardía (d)*




Fuente de la gráfica: CEACC

Las regiones de Puerto Rico que experimentaron un aumento en la precipitación anual promedio de una climatología a otra fueron el suroeste y el noreste (Ilustración 7a). De las diferentes estaciones examinadas aquí, la estación seca fue la que reflejó un aumento general moderado en la lluvia para la mayor parte del país (Ilustración 7b), con sectores en el este (El Yunque) exhibiendo el mayor aumento.

Los resultados de la estación seca temprana muestran que la mayor parte de la isla está más seca en la última climatología (1988-2021) en comparación con la anterior (1955-1987), con las regiones noroeste y sureste mostrando las mayores reducciones en la lluvia promedio total (Ilustración 7c). Para la estación seca, solo dos áreas exhibieron

[100] Hernández y Méndez, 2022.

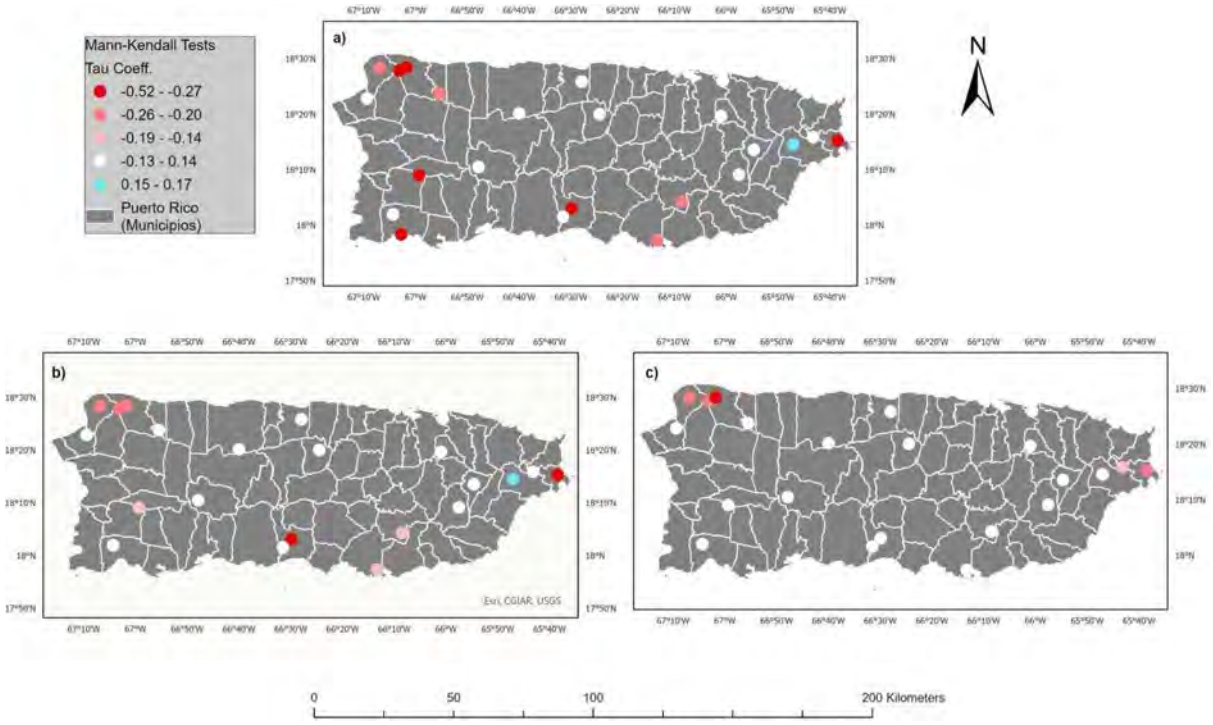
aumentos en la precipitación media, una zona en el interior occidental y un área en el noreste.

Los cambios en las climatologías de lluvia para la estación húmeda tardía muestran áreas con una disminución, un aumento y poco cambio en la precipitación promedio (Ilustración 7d). Una reducción en la precipitación media para la temporada de lluvia tardía de una climatología a la siguiente es evidente en gran parte del oeste y sureste. Tres zonas en la parte norte exhibieron aumentos en la precipitación promedio (Ilustración 7d). Estos resultados muestran los complejos patrones de lluvia que caracterizan a islas como Puerto Rico, donde algunas áreas han experimentado una disminución en la precipitación promedio anual y temporal, mientras que otras zonas han visto un aumento en la precipitación media.

Cuando examinamos tendencias en lluvia diaria, observamos que los eventos extremos de lluvia (percentiles 99, 95 y 90) han disminuido en diferentes sectores (Ilustración 8). Los resultados de tendencias de lluvia diaria en el 10 % (percentil 90) más alto de los eventos muestran una disminución significativa en sectores del oeste y sureste (Ilustración 8a). Gran parte de las estaciones ubicadas en el norte y centro no mostraron cambios en la tendencia. Solo una estación ubicada en el este (El Yunque) mostró un incremento en los eventos de lluvia diaria extrema en o por encima del 10 % más alto (Ilustración 8a).

**Ilustración 8.**

*Resultados de las pruebas de tendencia Mann-Kendall sobre eventos de lluvia diaria en el percentil 99 (a), percentil 95 (b) y percentil 90 (c)*




Fuente de la gráfica: CEACC

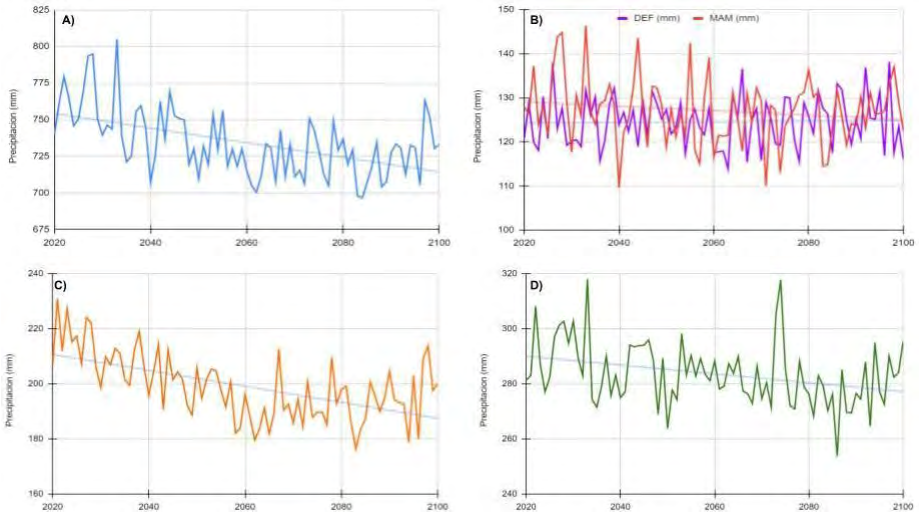
Los resultados de las pruebas de tendencias de lluvia diaria para los eventos dentro o por encima del 5 % (percentil 95) muestran que en la mayoría de las estaciones no hubo cambios significativos (Ilustración 8b). De las estaciones de lluvia diaria analizadas, solo seis mostraron un descenso en el número de eventos de lluvia diaria dentro o por encima del 5 % (Ilustración 8b). Estas estaciones que muestran una tendencia negativa (menos eventos de lluvia extrema) están ubicadas en sectores del oeste y sur de Puerto Rico. Los resultados se asemejan bastante a los presentados anteriormente, en donde vemos una tendencia de menos lluvia en general en el noroeste y el sureste.

A la hora de examinar los eventos de lluvia diaria extrema en o por encima del 1 % más alto (percentil 99), podemos observar nuevamente que la gran mayoría de las estaciones analizadas (18) no mostraron cambios significativos en sus tendencias (Ilustración 8c). Solo cinco de las 23 estaciones examinadas mostraron una disminución significativa en el número de eventos en o por encima del 1 % (Ilustración 8c). Las estaciones que mostraron disminuciones significativas en sus tendencias están ubicadas en el noroeste y extremo este. Los resultados de los análisis de tendencia de lluvia diaria en diferentes topes de extremo muestran que, en general, Puerto Rico no ha experimentado cambios significativos en lluvia extrema diaria, pero también muestran que unos sectores en el oeste, sur y este han visto un descenso en esos eventos de lluvia extrema.

Cuando observamos las proyecciones futuras de lluvia para la región de Puerto Rico (Ilustración 9), podemos apreciar que tanto en la proyección RCP 4.5 como en la RCP 8.5 se prevé una disminución de la lluvia en la región. En cuanto a la proyección de precipitación anual del RCP 4.5, se anticipa una reducción de 7.87 pulgadas (200 mm)

**Ilustración 9.**

*Proyecciones futuras de precipitación total promedio según el escenario RCP 4.5 para lluvia anual (a), temporada seca (b), temporada lluviosa temprana (c) y temporada lluviosa tardía (d)*



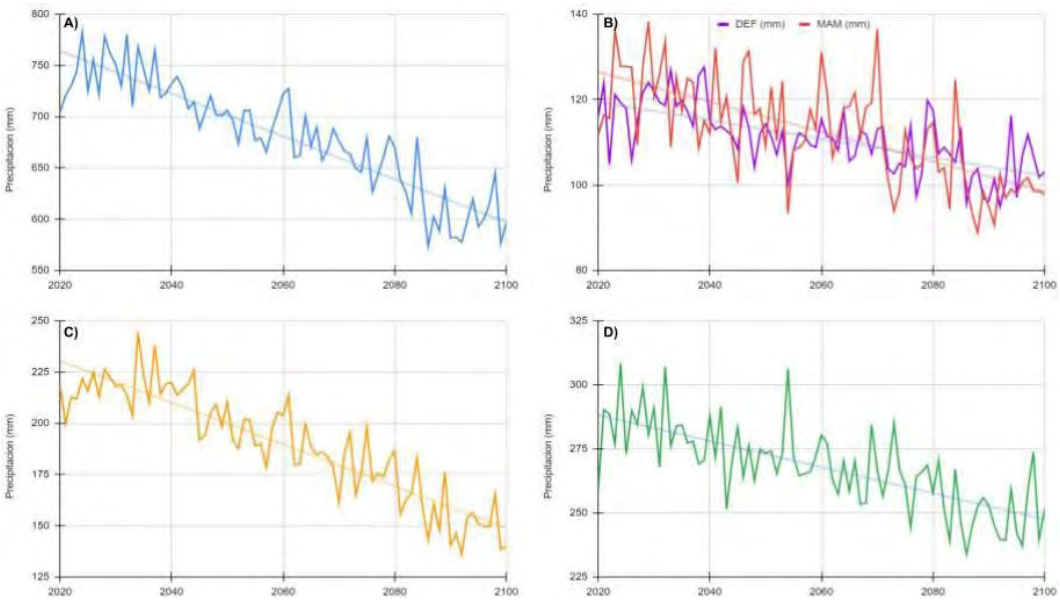

Fuente de la gráfica: CEACC

para la región a finales del siglo XXI. Al examinar las proyecciones de lluvia del RCP 4.5 por temporada, se observa que los meses más secos (diciembre a abril) no prevén una disminución de acumulaciones. Los meses más lluviosos (mayo-noviembre) sí proyectan un descenso significativo. Cabe recalcar que estas son proyecciones generales que no incorporan factores locales que podrían influir en las acumulaciones totales de lluvia.

Al examinar los escenarios de lluvia promedio total en el RCP 8.5 –el escenario más extremo en emisiones de GEI– se observa una disminución significativa en la lluvia acumulada desde el 2020 hasta finales del siglo (Ilustración 10). Se proyecta que la lluvia total promedio anual disminuiría de 29.41 pulgadas (747 mm) en esta década 2021-2030 a 23.62 (600 mm) en la última década (2091-2100) del siglo XXI. Cuando analizamos las proyecciones por temporada, observamos que la época que más sufrirá una disminución en la lluvia total acumulada es la temporada lluviosa temprana (junio-agosto), cuando podrían ocurrir disminuciones de hasta 5.91 pulgadas (150 mm) de precipitación total. Cabe resaltar que las proyecciones para la temporada seca y la temporada lluviosa tardía apuntan también a disminuciones significativas en la lluvia total promedio para la región de Puerto Rico.

**Ilustración 10.**

*Proyecciones futuras de precipitación total promedio, según el escenario RCP 8.5 para lluvia anual (a), temporada seca (b), temporada lluviosa temprana (c) y temporada lluviosa tardía (d)*




Fuente de la gráfica: CEACC

La mayoría de los modelos de cambio climático no pueden predecir cambios en la cantidad y distribución de la lluvia por temporada del año. Esto es particularmente relevante para Puerto Rico, donde la cantidad de lluvia varía significativamente de un período a otro. Otra limitación en cuanto a las proyecciones de lluvia extraídas de los modelos climáticos es que estos no capturan la relación compleja entre la lluvia y factores locales

como la topografía, la convección local y la cobertura de la superficie. Se exhorta a la comunidad científica local e internacional a realizar más estudios dirigidos a identificar cómo el cambio climático afectará los patrones de lluvia en Puerto Rico.

### 3.4.3. Sistemas ciclónicos tropicales, extratropicales, ondas y frentes de frío

#### *3.4.3.1. Huracanes*

Los huracanes son una gran amenaza tanto para Puerto Rico como para las Islas Vírgenes Estadounidenses, tal y como afirma el tercer mensaje clave del *Resumen del Clima 2022*. Se prevé que, en un clima más cálido, la cantidad de huracanes más intensos (categorías 3, 4 y 5) aumente y, con ello, las tasas de lluvia asociada a estos sistemas y las alturas de las marejadas ciclónicas al combinarse con el aumento del nivel del mar. Un estudio publicado recientemente concluyó que el número total de ciclones tropicales y huracanes más intensos (categorías 3, 4 y 5) ha aumentado en el océano Atlántico y que los aumentos de temperatura y humedad en la región asociados al cambio climático son uno de los factores más importantes en ese aumento[101]. Otro estudio encontró que el número de ciclones tropicales que se desarrollan en el Atlántico antes de temporada va en aumento, en especial para el mes de mayo[102].

El número de ciclones tropicales que impactaron a Puerto Rico aumentó en un período de 25 años, de 1996 a 2021, resume el informe del PRCCC. El documento establece que probablemente las temperaturas más cálidas de la superficie del mar y una atmósfera con más calor contribuyeron a los grandes totales de lluvia intensa asociada con el huracán María, que es la precipitación promedio más alta observada de un ciclón tropical en los últimos 60 años para el país (los registros dan cuenta de hasta 40 pulgadas de lluvia en Caguas). El 18 de septiembre de 2022, el huracán Fiona (categoría 1) dejó en Ponce récords de lluvia de más de 32 pulgadas en 48 horas (32.14) y 72 horas (32.45), informó el Servicio Nacional de Meteorología en Puerto Rico. El evento causó inundaciones catastróficas en múltiples sectores, desbordamientos de ríos y deslizamientos de tierra[103].

Desde el 1855 hasta el 2019, hubo en promedio 2.9 eventos de ciclones tropicales (depresiones, tormentas y huracanes) por períodos de cinco años dentro de las 200 millas náuticas (321.8 km) de Puerto Rico. Para cada uno de los últimos cinco quinquenios (25 años), la actividad ciclónica tropical fue superior al promedio, indica el informe del PRCCC. En un análisis realizado por especialistas del CEACC se extendió el radio a 270 millas náuticas (500 km) de la isla y se encontró que el promedio de ciclones tropicales era de 3.3 por año para las últimas tres décadas, el promedio más alto cuando se compara con décadas anteriores.

---

[101] Hernández Ayala, J. J., & Méndez-Tejeda, R. (2022). "The Extremely Active 2020 Hurricane Season in the North Atlantic and Its Relation to Climate Variability and Change." *Atmosphere*, *13*(12), 1945. DOI:10.3390/atmos13121945

[102] Hernández Ayala, José J., and Rafael Méndez-Tejeda. "Increasing frequency in off-season tropical cyclones and its relation to climate variability and change." *Weather and Climate Dynamics* 1.2 (2020): 745-757. doi.org/10.5194/wcd-1-745-2020

[103] Véase el informe del SNM sobre el huracán Fiona en: https://www.weather.gov/sju/fiona2022.

Entre 2017 y 2021, las temporadas de huracanes en el Atlántico produjeron 101 sistemas ciclónicos, según el Centro Nacional de Huracanes. De estos, 51 se formaron entre el 2020 (30) y el 2021 (21): 45 se convirtieron en huracán y 22 fueron huracanes mayores (categorías 3, 4 o 5)[104].

Los huracanes Irma y María cambiaron significativamente el paisaje terrestre y marino, incluidos los humedales costeros, los hábitats de coral y las hierbas marinas, como veremos en las secciones 4.8, 4.9 y 4.10. “Es probable que el aumento pronosticado en la frecuencia e intensidad de las tormentas a medida que continúa el cambio climático sea un factor crítico que afecte la forma y función de los sistemas naturales en Puerto Rico”, plantea el informe del PRCCC[105].

También, en las secciones 4.8 y 4.14 veremos cómo los aumentos en la intensidad de los ciclones tropicales combinados con el aumento en el nivel del mar elevarán los niveles de la marejada ciclónica y las inundaciones costeras. El Centro Nacional de Huracanes (NHC, por sus siglas en inglés) distingue la marejada ciclónica de la marea de tormenta. Define la primera como un aumento anormal del agua generado por una tormenta por encima de la marea astronómica pronosticada. La segunda es un incremento en el nivel del agua durante una tormenta debido a la combinación de la marejada ciclónica y la marea astronómica[106].

Un informe de la NOAA del 2019 indica que durante el paso del huracán María por Puerto Rico el efecto combinado de la marejada ciclónica y la marea de tormenta produjo niveles máximos de inundación de 6 a 9 pies sobre el nivel del suelo a lo largo de las costas de Humacao, Naguabo y Ceiba[107].

### *3.4.3.2. Tormentas y depresiones tropicales*

Según los registros del NHC, entre el 2017 y el 2021 hubo 49 tormentas tropicales, cinco depresiones tropicales y cuatro tormentas subtropicales. Aunque sus vientos no tienen la capacidad destructiva de los huracanes, las tormentas y depresiones tropicales tienen el potencial de causar estragos por inundaciones y derrumbes.

En septiembre del 1975, el paso de la tormenta tropical Eloise por aguas cercanas a Puerto Rico dejó una estela de destrucción sobre la isla con hasta 33.29 pulgadas de lluvia registradas en Utuado. Fue uno de los eventos de inundación de mayor impacto sobre Puerto Rico: 34 personas murieron, cientos resultaron heridas y más de 6,000 personas tuvieron que ser desalojadas[108].

---

[104] NHC. Temporada de Huracanes en el Atlántico.

[105] Carrubba, L., Burgos Caraballo, S., Engman, A.C., Galindo Estronza, A.M., Gutiérrez-Fonseca, P.E., Llerandi-Román, I., Pérez Reyes, O., Wagner Vega, K.M., Silander, S., Colón, R., Soler-Figueroa, B.M., Grafals, R., Torres-Pérez, J.L., García-Sais, J.R., Meléndez, M., Zayas-Santiago, C., Murry, B., Colón-Merced, R., Lilyestrom, C., Antoun, H. (2022). Working Group 2: Ecology and Biodiversity. State of the Climate Report. Puerto Rico Climate Change Council. Carrubba, L., Díaz, E., Marrero, V., González, M., Leinberger, A., Rodríguez, J.L. [Eds.].

[106] NHC. Introducción a la marejada ciclónica.

[107] NHC. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL152017_Maria.pdf.

[108] EcoExploratorio. Inundaciones en Puerto Rico.

Cinco años antes, en octubre de 1970, una depresión tropical pasó a la historia como un sistema que produjo uno de los eventos más significativos de inundaciones desde que se tienen registros. Según un resumen del sistema publicado en el portal EcoExploratorio, el centro de la baja presión de la depresión tropical #15 no entró directamente sobre Puerto Rico sino que se mantuvo a unas 200 millas de la costa sur. No obstante, sus nubes estuvieron casi estacionarias sobre la isla mientras el fenómeno se movía del mar Caribe al océano Atlántico a través de la República Dominicana. Las lluvias excesivas alcanzaron 41.68 pulgadas en Jayuya entre el 5 y el 10 de octubre. Al menos 17 pulgadas de lluvia cayeron en 24 horas. "Sobre 20 ríos mayores se salieron de su cauce, y hubo destrucción de puentes y carreteras importantes del País. Sobre 600 casas fueron destruidas por las inundaciones o derrumbes. Unas 18 personas perdieron su vida y los daños económicos se estimaron en $68 millones. Gran parte de los daños fueron observados en la agricultura, como en la caña de azúcar y café"[109].

Un estudio muestra que las tormentas tropicales y depresiones que tienden a producir las lluvias más significativas (2 pulgadas (50 mm) promedio para toda la isla) suelen tener centros de sistema (ojo) muy cercanos a Puerto Rico (136.7 millas o menos), ambientes de humedad muy altos (1.77 pulgadas (45 mm) o más) y velocidades de traslación muy lentas (.004 millas (6.4 metros) por segundo o menos)[110]. Otro estudio concluyó que las zonas sureste y centro de Puerto Rico son las que más lluvia suelen acumular tras el paso de las tormentas y depresiones tropicales. Esta lluvia puede ocasionar inundaciones y deslizamientos, pero es también una fuente importante de agua para la isla (15-30 % de la lluvia en algunos sectores)[111]. Un estudio enfocado en las inundaciones asociadas al paso de tormentas tropicales encontró que las zonas del interior este y centro tienden a experimentar las inundaciones más extremas, mientras que las inundaciones en el oeste tienden a ser producto de otros fenómenos atmosféricos[112].

Varios estudios recientes apuntan a que el cambio climático está promoviendo ambientes de humedad óptimos para que la lluvia asociada al paso de ciclones tropicales sea aún más extrema. Un estudio sobre el huracán María concluyó que la precipitación extrema asociada al sistema se alteró por condiciones relacionadas con el cambio climático (altas temperaturas y humedad)[113]. Otro estudio sobre la temporada más activa en el Atlántico –la del 2020– encontró que las tendencias asociadas al cambio climático (aumento de temperatura superficial del océano Atlántico) han generado las condiciones ideales para que los eventos de lluvia extrema como los observados en esa tempo-

[109] Ídem.
[110] Hernández Ayala, J. J., Keellings, D., Waylen, P. R., & Matyas, C. J. (2017). "Extreme floods and their relationship with tropical cyclones in Puerto Rico." *Hydrological Sciences Journal*, *62*(13), 2103-2119.
[111] Hernández Ayala, J. J., & Matyas, C. J. (2018). "Spatial distribution of tropical cyclone rainfall and its contribution to the climatology of Puerto Rico." *Physical Geography*, *39*(1), 1-20.
[112] Hernández Ayala, et al., (2017).
[113] Keellings, D., & Hernández Ayala, J. J. (2019). "Extreme rainfall associated with Hurricane Maria over Puerto Rico and its connections to climate variability and change."*Geophysical Research Letters*, *46*(5), 2964-2973.

rada sean más frecuentes en el futuro[114]. Asimismo, un estudio sobre la lluvia extrema asociada al huracán Fiona apunta hacia el cambio climático como factor importante que generó las condiciones ideales para que en menos de 5 años se diera un evento de igual o mayor magnitud que el huracán María para ciertos sectores de Puerto Rico[115].

#### *3.4.3.3. Marejadas asociadas a sistemas ciclónicos extratropicales*

El NHC define los ciclones extratropicales como aquellos sistemas ciclónicos de cualquier intensidad cuya fuente primaria de energía resulta del contraste de temperaturas entre masas de aire cálido y frío[116]. Los ciclones extratropicales se forman en cualquier lugar dentro de las regiones extratropicales de la Tierra (por lo general, entre 30° y 60° de latitud). Ejemplos de ciclón extratropical son las tormentas invernales o frentes fríos que afectan la costa este de Estados Unidos. Su fuerza impulsa marejadas capaces de alcanzar las costas de Puerto Rico, como ocurrió en marzo de 2018[117]. Por generarse en áreas distantes a la isla, los oleajes se desarrollan en períodos largos por lo que arrastran más energía y crean condiciones muy peligrosas en las costas de Puerto Rico, particularmente en la franja norte. Con el debilitamiento de los sistemas de arrecifes de coral, la deforestación de manglares y humedales, y el aumento en el nivel del mar, el riesgo de que estos sistemas perjudiquen más a nuestros recursos y comunidades costeras aumenta.

Las marejadas son uno de los posibles causales de los cambios observados en las playas de Puerto Rico. En el ensayo *Manifiesto de Palmas del Mar ¿Qué hacer si el mar no se queda quieto y las costas siguen cambiando?*[118] se explica que también los sistemas de vientos que determinan el clima de Puerto Rico influyen en el sistema de oleaje, así como la profundidad del agua y la forma de la costa. El documento añade que “los tipos de oleajes que llegan a nuestras costas varían en la altura de las olas, su frecuencia de rompimiento y la energía que disipan en su trayectoria hacia la playa”. Asimismo, tienen distintos efectos sobre la costa.

La suma de la intervención humana a estos factores agrava sus efectos sobre la forma y estabilidad costera. Una investigación científica publicada en el 2020 analizó los impactos de los eventos climáticos extremos sobre las playas de Puerto Rico, particularmente en el sector turístico de Ocean Park, en San Juan. El estudio concluyó que una serie de

---

[114] Reed, K. A., Wehner, M. F., & Zarzycki, C. M. (2022). “Attribution of 2020 hurricane season extreme rainfall to human-induced climate change.” *Nature Communications*, *13*(1), 1905.

[115] Ramos Scharrón, C. E., Hernández Ayala, J. J., Arima, E. Y., & Russell, F. (2023). “Preliminary Analyses of the Hydro-Meteorological Characteristics of Hurricane Fiona in Puerto Rico.” *Hydrology*, *10*(2).

[116] Hernández Ayala, J. J., & Matyas, C. J. (2016). “Tropical cyclone rainfall over Puerto Rico and its relations to environmental and storm-specific factors.” *International Journal of Climatology*, *36*(5), 2223-2237.

[117] Fritz, A. (5 de marzo de 2018). The nor’easter was so big that its waves reached Puerto Rico — and the result was not good. The Washington Post.

[118] Ariel E. Lugo, Maritza Barreto Orta, Miguel Canals Silander, Ruperto Chaparro, María Santos Corrada, Ernesto Díaz, Juan G. González Lagoa, Edwin A. Hernández Delgado y José Molinelli. Acta Científica, *29*(1-3):92-108, 2019.

estos eventos ocurridos luego del huracán María combinados con el aumento en el nivel del mar y con décadas de mala planificación de la infraestructura costera empeoraron la erosión en la zona y afectaron severamente la infraestructura residencial, comercial y turística, así como las actividades recreativas que se realizan allí[119].

### *3.4.3.4. Frentes fríos y marejadas asociadas*

Los frentes fríos son fenómenos meteorológicos comunes en Puerto Rico durante los meses secos (diciembre a abril). Estos sistemas frontales se caracterizan por un cambio brusco en la temperatura del aire y suelen estar asociados con vientos fuertes y lluvias moderadas o intensas, dependiendo de las condiciones. Los frentes fríos pueden generar condiciones peligrosas en la isla, como inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra. Además, pueden afectar la navegación y la pesca en alta mar, ya que son capaces de generar eventos significativos de marejadas que impactan con mucha frecuencia las costas norte y oeste.

Los sistemas de frentes fríos han causado daños significativos en Puerto Rico por lluvias y marejadas. Entre el 4 y 6 de febrero de 2022 un frente de frío dejó hasta 16 pulgadas de lluvia, 12 de ellas en un período de 24 horas, informó el SNM. El 8 de marzo, el gobernador Pedro Pierluisi solicitó al presidente Joe Biden que emitiera una declaración de desastre mayor para al menos siete de los pueblos del norte más afectados, donde el costo de los daños se estimó en $2,338,408[120].

Los frentes fríos se consideran eventos extremos cuyas marejadas tienen impactos severos, como la erosión costera, y ponen en riesgo la infraestructura y la actividad económica. En marzo del 2018, Puerto Rico registró un récord de altura de marejada en la hora pico. Las olas rompientes sobrepasaron los 25 pies y posiblemente alcanzaron los 30 pies debido a un sistema frontal en dirección hacia el sur, que ocasionó el cambio de dirección del oeste al noroeste de vientos de 10 a 20 millas por hora, según datos del SNM citados en informes de prensa[121]. Los informes indican que la ola más alta registrada en un evento diez años atrás alcanzó los 16 pies en una boya ubicada a 160 millas al norte de San Juan.

La frecuencia e intensidad de estos frentes fríos podrían alterarse por el efecto que el cambio climático está teniendo en el vórtice polar. Debido al cambio climático, la temperatura en el Ártico se calienta a un ritmo más rápido que en otras partes del planeta. Esto significa que la diferencia de temperatura entre el aire frío en el polo y el aire cálido del sur disminuye, lo que debilita el vórtice polar. Como resultado, el vórtice polar se está volviendo más inestable y puede causar que ondas que separan el aire frío y el aire cálido

---

[119] Rafael Méndez-Tejeda, Kevián Augusto Pérez-Valentín, and Maritza Barreto-Orta, “Impact of Extreme Weather Events on the Beaches of Puerto Rico: The Case of Ocean Park, San Juan”. *American Journal of Marine Science*, vol. 8, no. 1 (2020): 1-5. doi: 10.12691/marine-8-1-1.

[120] B.J. Figueroa Rosa. (8 de marzo de 2022.) Pierluisi pide a Biden declaración de desastre mayor para siete pueblos afectados por lluvias. Primera Hora.

[121] Sostre Vicario, K.D. (5 de marzo de 2018). La “histórica marejada” batió récord de altura en la isla. *El Nuevo Día.*

penetren más al sur con el potencial de ocasionar sistemas frontales fuertes que podrían producir eventos de marejada y de lluvias significativos.

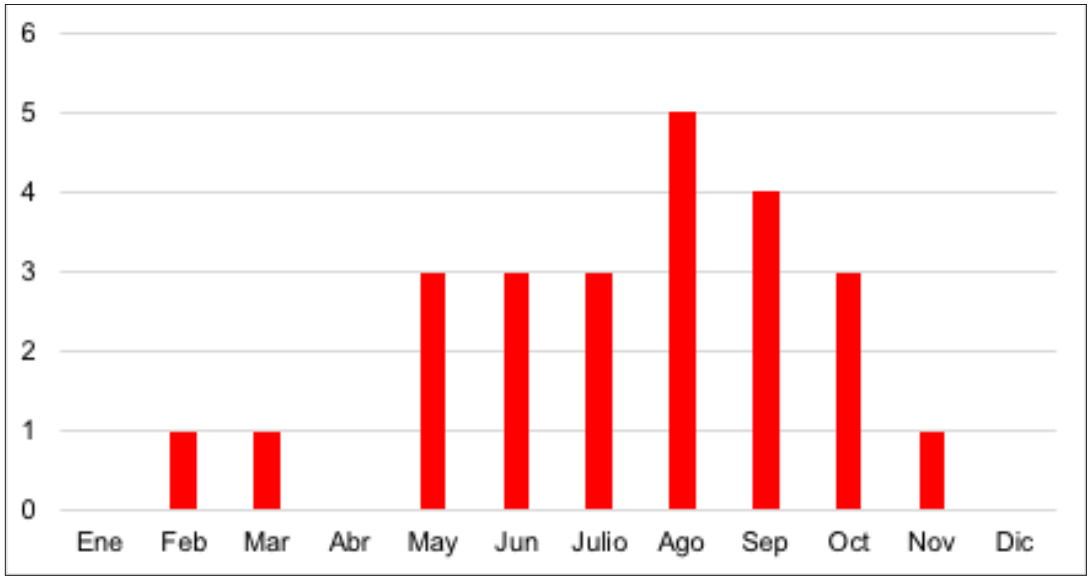
### *3.4.3.5. Tornados*

A pesar de no ser comunes en la región, los tornados en Puerto Rico representan eventos meteorológicos que pueden causar impactos significativos en la isla. Estos torbellinos de viento presentan un riesgo impredecible para la infraestructura y las comunidades locales. Aunque generalmente de menor escala que los tornados observados en otras partes del mundo, su potencial destructivo no debe subestimarse.

Los tornados en Puerto Rico pueden formarse en cualquier momento del año, pero tienden a ser más comunes durante la temporada de huracanes, que va desde junio hasta noviembre. Durante este período, las condiciones atmosféricas pueden volverse propicias para la formación de tormentas eléctricas intensas, las cuales son un factor clave en la generación de tornados. Según datos de la NOAA, en Puerto Rico se han reportado y confirmado 24 tornados. La gran mayoría de estos se formaron en los meses de mayo a octubre, siendo agosto y septiembre los meses con la mayor cantidad de tornados reportados (Ilustración 11).

**Ilustración 11.**

*Tornados en Puerto Rico por mes*

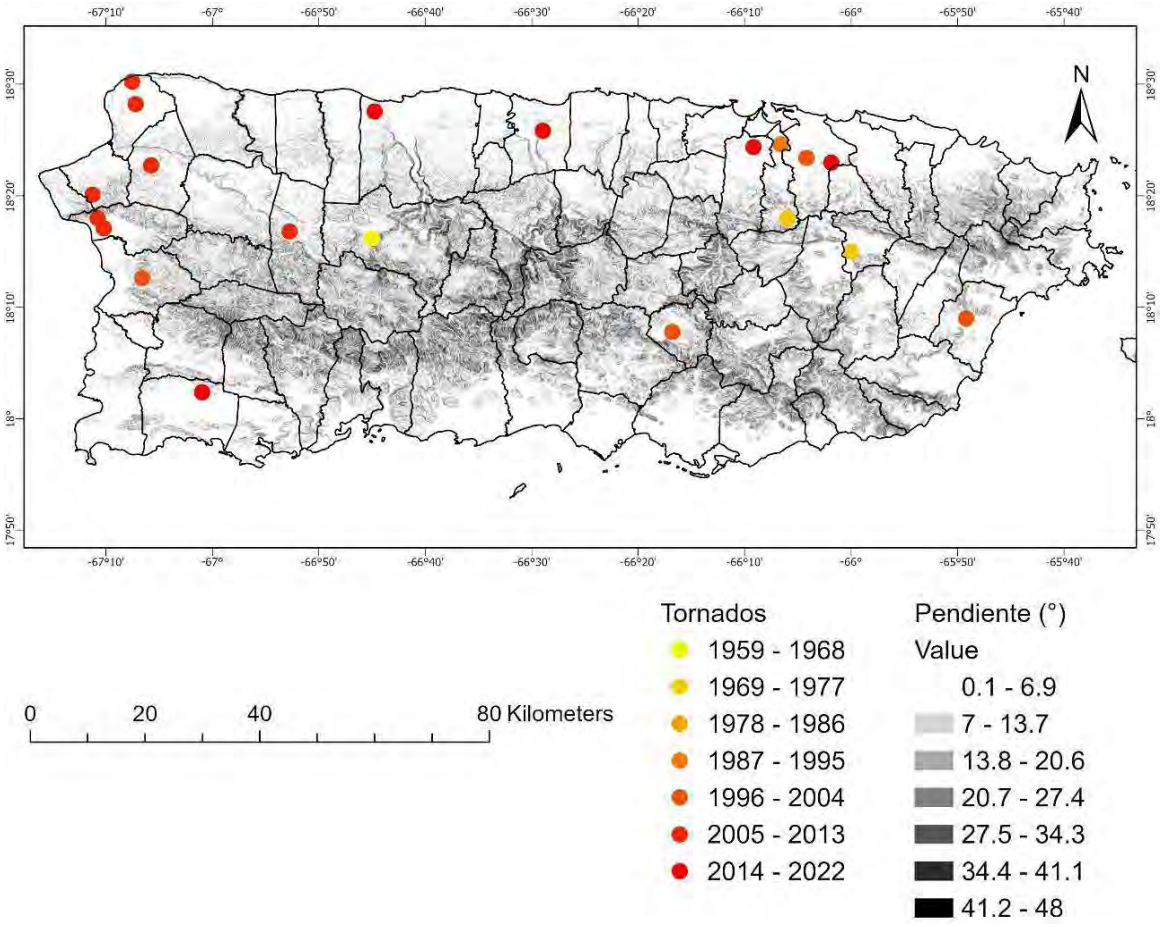



Cantidad total de tornados confirmados por mes del año. Fuente: NOAA / Servicio Nacional de Meteorología (https://www.spc.noaa.gov/gis/svrgis/)

Los tornados en Puerto Rico suelen formarse en asociación con sistemas atmosféricos como líneas de tormentas, células de tormenta individuales y bandas de lluvia asociadas a sistemas tropicales, como los huracanes o las tormentas tropicales. Las áreas y las llanuras costeras son más propensas a la formación de tornados debido a las condiciones topográficas y la interacción entre los vientos alisios y las condiciones atmosféricas cambiantes. Según los datos de la NOAA, desde el 1950 hasta el 2022 en la isla se han formado 24 tornados. La mayoría de estos tornados ocurrieron en la zona oeste, en especial en los municipios de Aguadilla, Aguada, Moca, Añasco y Mayagüez (Ilustración 12). Cabe recalcar que la región que más tornados ha experimentado en las décadas más recientes es el noroeste de la isla. En esta región es donde interactúan los vientos del este con la brisa marina del oeste, dos masas de aire con diferentes densidades que pueden generar las condiciones ideales para la formación de vórtices que pueden desarrollarse en tornados. Hasta agosto del 2023, se habían reportado tres tornados en esa región de la isla.

**Ilustración 12.**

*Tornados documentados en Puerto Rico (1950-2022)*




Cantidad de tornados documentados por la NOAA entre 1950 y 2022. La mayoría ocurrieron en la zona oeste. Fuente: NOAA / Servicio Nacional de Meteorología (https://www.spc.noaa.gov/gis/svrgis/)

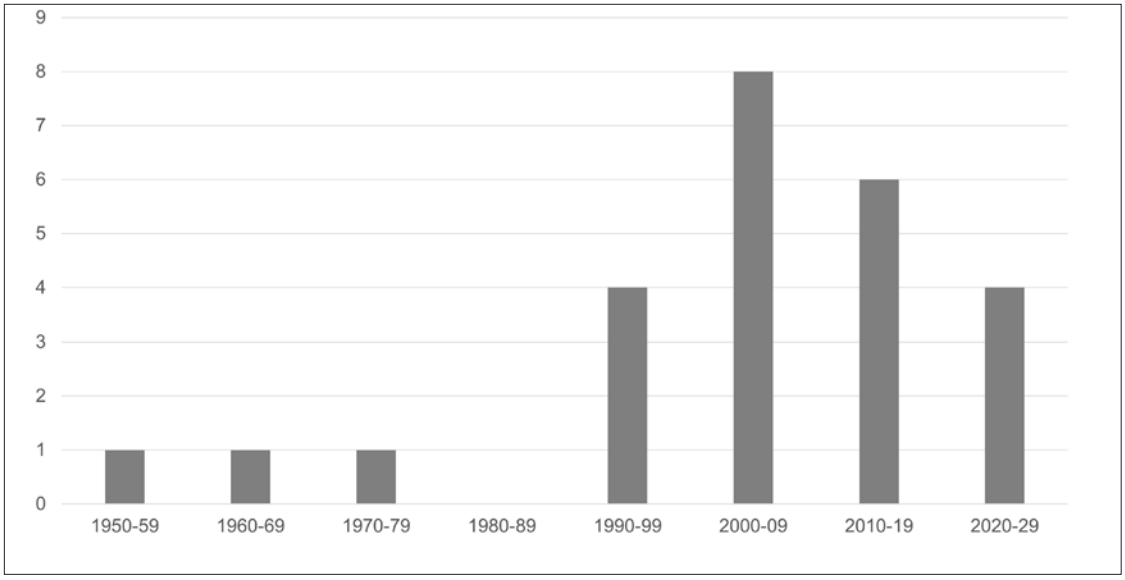
Es importante destacar que los tornados en Puerto Rico tienden a ser de menor intensidad en comparación con los tornados más devastadores que ocurren en otras regiones, como en las grandes planicies del medioeste y el sureste de los Estados Unidos. Sin embargo, pueden causar daños significativos en las áreas afectadas y las autoridades y la población en general deben tomarlos en serio.

En cuanto a tendencias en el número de tornados, según los datos de la NOAA, Puerto Rico ha experimentado un incremento en la cantidad total en las últimas dos décadas (Ilustración 13). En lo que va de la década 2020-2029, se han confirmado cuatro tornados (uno en Arecibo, uno en Aguada y dos en Aguadilla), por lo que podemos esperar que esta década será de las más activas en la historia de Puerto Rico.

Es importante recalcar que todavía no existe un consenso científico en cuanto a cómo el cambio climático afectará la frecuencia y magnitud de los tornados en Puerto Rico, pero los datos apuntan a un incremento en su frecuencia en las últimas décadas, por lo que debemos seguir estudiando su evolución para confirmar o descartar si existe una relación con el calentamiento global.

**Ilustración 13.**

*Tornados por décadas en Puerto Rico*




Cantidad total de tornados por década que fueron reportados y confirmados por el Servicio Nacional de Meteorología. Fuente: NOAA / Servicio Nacional de Meteorología (https://www.spc.noaa.gov/gis/svrgis/)

### 3.4.4. Aumento del nivel del mar

Desde el 1962, el nivel del mar aumentó 0.7 pulgadas por década en San Juan, Puerto Rico. La tasa es igual a la del aumento global del nivel del mar durante la segunda mitad del siglo xx, indica el cuarto mensaje clave del *Resumen del clima 2022*. Según el informe del PRCCC del 2022, se proyecta que el nivel global del mar podría aumentar en el

rango de 1 a 8 pies a partir de los escenarios de emisiones bajas, intermedias o altas y se anticipan aumentos similares para Puerto Rico y las Islas Vírgenes. La sección 4.14 abunda sobre las proyecciones.

El aumento del nivel del mar presenta amenazas generalizadas y continuas tanto a los ambientes naturales como a la infraestructura y servicios en las comunidades costeras. Además, el aumento del nivel del mar causa la intrusión de agua salada en los humedales costeros y acuíferos[122]. La *Cuarta evaluación nacional del clima* añade que "el aumento en el nivel del mar, combinado con la acción de olas más fuertes y oleadas de tormenta más altas, empeorarán las inundaciones costeras y aumentarán la erosión costera, lo que seguramente provocará una reducción en las áreas de playa, pérdida de barreras contra oleajes de tormenta, menos turismo y efectos negativos en el modo de vida y el bienestar". Este escenario puede empeorar si se suma la situación de hundimiento del terreno como, por ejemplo, aquellos asociados con eventos co-sísmicos como el ocurrido en varias áreas de la costa de Puerto Rico luego del terremoto de magnitud 6.4 con epicentro en el suroeste, ocurrido el 7 de enero del 2020[123].

Observaciones de mareógrafos en Isla Magueyes en La Parguera, Lajas, desde la década de 1950, y La Puntilla en la bahía de San Juan, desde la década de 1960, muestran una tendencia actual relativa de elevación del nivel del mar de .07 pulgadas (1.89 mm)$^{año-1}$ en la Isla Magueyes y .08 pulgadas (2.10 mm) $^{año-1}$ en San Juan, resume el Grupo de Trabajo 1 del PRCCC. Desde 2010, el nivel del mar en la Isla Magueyes y San Juan aumentó aproximadamente .17 pulgadas (4.4 mm) $^{año-1}$ y .07 pulgadas (1.8 mm) $^{año-1}$, respectivamente. Los conjuntos de datos a largo plazo de ambos mareógrafos muestran una aceleración creciente en el aumento del nivel del mar de aproximadamente ~ 11.81 pulgadas (0.3 m). La sección 4.14 ofrece detalles de los escenarios sobre las proyecciones de aumento del nivel del mar en Puerto Rico para las próximas décadas escogidos por el CEACC para la preparación del P-MARCC.

### 3.4.5. Aumento de acidez de los océanos

La superficie oceánica actual es 12 % más ácida que en 1988, indica el informe del PRCCC del 2022. Los niveles de pH[124] del agua de mar superficial de 1988 a 2020 disminuyeron a una tasa de -0.017 dentro de la Zona Económica Exclusiva de Puerto Rico. El análisis de datos de temperatura de la superficie del mar por teledetección de 1992 a 2020 en océano abierto frente al suroeste de Puerto Rico arrojó una tasa de calentamiento[125] que duplicó la tasa global y resultó en una temperatura oceánica superficial 2.3 % más alta que en 1992[126].

---

[122] Carrubba, L., et al., (2022)

[123] Kevián Pérez-Valentín, Maritza Barreto-Orta, Aurelio Castro, Alfredo Montañez-Acuña, and Nahir Cabrera-Valentín. (2020). "Revealing geomorphic changes after the occurrence of a seismic event on the South Coast of Puerto Rico". *Shore and Beach.* Vol. 89, No 1, Winter 2021. http://doi.org/10.34237/1008914

[124] pH es una medida del nivel de acidez o alcalinidad en el agua. A menor nivel de pH, mayor acidez. Para conocer más véase: https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/ph-and- water.

[125] La tasa de calentamiento resultante fue 0.26 ± 0.006 ° C década-1.

[126] Meléndez, M. *Effects of Nearshore Processes on Carbonate Chemistry Dynamics and Ocean Acidification*. (2020). *Doctoral Dissertations*. 2532. https://scholars.unh.edu/dissertation/2532/.

Como recuerda el informe del IPCC, el calentamiento y la acidificación de los océanos perjudican la producción de alimentos procedentes de la acuicultura y la pesca de mariscos en algunas regiones oceánicas[127].

Estos factores generan cambios en la supervivencia y, en algunos casos, el movimiento activo de especies marinas para encontrar sus condiciones de temperatura preferidas, por lo que la mayoría se desplaza hacia el norte o hacia aguas más profundas en la medida en que se calientan los océanos, advierte la *Cuarta evaluación nacional del clima*. "Estos cambios están afectando la distribución y la disponibilidad de muchos peces e invertebrados de valor comercial y recreativo", dice el informe. Los autores del documento instan a tener en cuenta estos factores para que las pesquerías puedan afrontar el cambio climático. "Incluso sin tener directamente en cuenta los efectos climáticos, el manejo de las pesquerías de forma precautelar y mejores incentivos pueden aumentar los beneficios económicos y mejorar la resiliencia", señalan.

Estos datos concuerdan con cifras de la Fundación Nacional de Educación Ambiental que indican que la tasa actual de cambio en la acidez del océano "es casi 50 veces más rápida que tasas históricas de cambio conocidas"[128]. La entidad recuerda que la fuente primaria de proteína en la dieta de más de 1,000 millones de personas en el mundo proviene del mar.

### 3.4.6. Aumento de temperatura del océano

Los cambios a corto plazo en el clima o en la circulación oceánica pueden combinarse con las tendencias climáticas a largo plazo para producir períodos de condiciones oceánicas muy inusuales con el potencial de tener grandes repercusiones en las comunidades costeras, indica el informe resumido de la *Cuarta evaluación*. Dos de estos eventos documentados son la ola de calor marina de 2012 en el noroeste del océano Atlántico y la secuencia de eventos de calentamiento oceánico entre 2014 y 2016 en el noreste del océano Pacífico, incluyendo una gran zona de agua muy cálida y persistente denominada *Blob* (gota). Los ecosistemas de estas regiones experimentaron condiciones muy cálidas (más de 3.6 °F por encima del rango normal), las cuales se mantuvieron durante varios meses.

En su informe del 2022, el PRCCC abundó: "Las observaciones históricas disponibles y los *proxies* evidencian que el calentamiento del océano está ocurriendo a escala global a un ritmo que no es consistente con los ciclos naturales solos, como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) u Oscilación Decenal del Atlántico". Indica que las observaciones de la temperatura de la superficie del mar de la última década recogidas en la boya de CO2 frente a La Parguera y la boya CARICOOS PR-1 frente a Ponce evidencian la frecuente ocurrencia estacional de temperaturas muy por encima de 85.10 °F. Un promedio de 25 % de las observaciones de La Parguera y el 13 % de las de Ponce superaron dicho umbral. Las temperaturas por encima del umbral de blanqueo del coral son frecuentes tanto en las aguas exteriores como en las interiores. El calentamiento

[127] IPCC, SPM.B.1.3.
[128] NEEF, https://www.neefusa.org/explore/climate-change.

de los océanos complica más las amenazas que la acidificación puede tener en la biodiversidad marina y las actividades socioeconómicas en las próximas décadas[129].

### 3.4.7. Aumento de frecuencia e intensidad de episodios de polvo del Sahara

La presencia de polvo del desierto de Sahara sobre Puerto Rico es un fenómeno común que suele ocurrir en los meses de verano, entre junio y agosto. El polvo afecta los padecimientos respiratorios de la población. Sobre sus efectos en la salud pública, abundaremos en la sección 4.5.1.5.1.

A nivel climático, este fenómeno reduce la intensidad de los sistemas ciclónicos, como los huracanes. Asimismo, los aumentos en las concentraciones de polvo del Sahara en el Atlántico tropical se han asociado con la reducción de las lluvias en el Caribe y Puerto Rico.

En el verano del 2020, una concentración de polvo del Sahara sin precedentes en más de seis décadas cubrió a Puerto Rico durante al menos dos semanas. El evento provocó que el índice de calidad del aire alcanzara el nivel peligroso –305 en la estación del DRNA en Cataño[130]. El índice más alto reportado hasta entonces fue de 154 en el 2018. El sistema de polvo sahariano redujo la visibilidad en el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín hasta cinco millas y provocó el cierre de los balnearios. Los valores del particulado alcanzaron los 500 microgramos por metro cúbico, considerándose las partículas más grandes de lo normal, según la Estación Atmosférica Cabezas de San Juan[131].

El cambio climático puede tener un impacto significativo en la cantidad y la composición del polvo del Sahara que nos llega a Puerto Rico. El aumento de las temperaturas y la sequía en la región del Sahara pueden llevar a una mayor desertificación y erosión del suelo, lo que a su vez aumentaría la cantidad de polvo en suspensión en el aire. Además, el cambio climático puede afectar también los patrones de viento y las corrientes atmosféricas, lo que podría alterar la trayectoria del polvo del Sahara y llevarlo a áreas donde antes el fenómeno no se experimentaba con frecuencia.

Un análisis realizado por especialistas del CEACC encontró que desde el 1980 al 2022 hubo un alza en la frecuencia e intensidad de los episodios de polvo del Sahara para la región de Puerto Rico. Utilizando datos de satélite (Modelo MERRA-2) de densidad de polvo del Sahara en la región de Puerto Rico se identificó un incremento significativo en la cantidad de partículas suspendidas en los meses de junio a agosto (Ilustración 14). De continuar el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos de polvo del Sahara, podemos esperar también una merma en la lluvia acumulada de esos meses

[129] Meléndez, M., Salisbury, J., Gledhill, D., Langdon, C., Morell, J. M., Manzello, D., Musielewicz, S., Rodríguez-Abudo, S., and Sutton, A. (2020) "Seasonal variations of carbonate chemistry at two western Atlantic coral reefs", *Journal of Geophysical Research*: Oceans, https://doi. org/10.1029/2020JC016108.

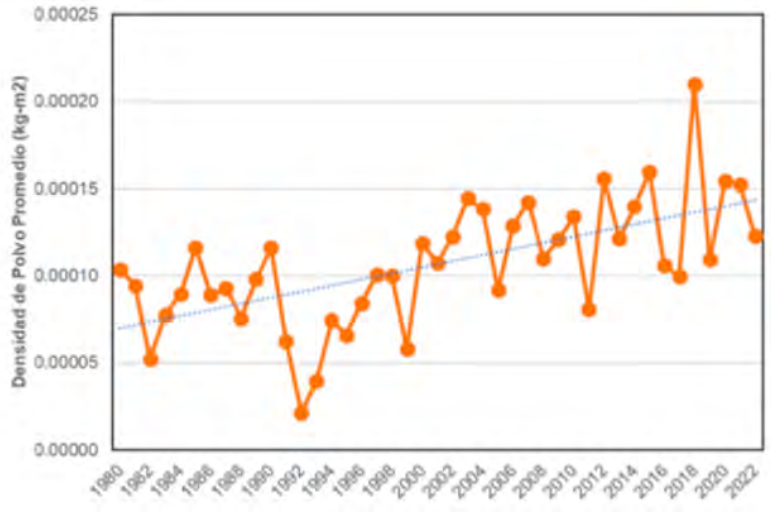
[130] *El Nuevo Día*. (martes 23 de junio de 2020). Índice de calidad del aire alcanza el nivel peligroso debido al polvo del Sahara.

[131] Delgado Rivera, J.O. (miércoles 24 de junio de 2020). *El Nuevo Día.* Polvo del Sahara: Así se mide en Puerto Rico el particulado que llega desde África.

de verano, lo cual podría exacerbar aún más las sequías que se proyectan para los años futuros.

**Ilustración 14.**

*Densidad promedio de polvo del Sahara calculada utilizando datos del modelo MERRA-2 para la región de Puerto Rico para los meses de junio a agosto en el período de 1980 a 2022*




Fuente de la gráfica: CEACC

# CAPÍTULO 4.

# Impacto del cambio climático en Puerto Rico

## 4.1. Energía

La Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) se creó por disposición de la Ley 83 del 2 de mayo del 1941. Desde entonces, esta corporación había sido el único proveedor de electricidad en Puerto Rico, mediante plantas generatrices propias o plantas contratadas que utilizan fuentes alternas como el gas, el carbón, la energía solar y la eólica[132].

En el 2021, la administración del sistema de distribución y transmisión se delegó en la compañía *LUMA Energy* (en adelante, LUMA). En enero del 2023, se otorgó un contrato a la empresa Genera PR para operar, mantener y eventualmente decomisar las unidades generatrices propiedad de la AEE en cumplimiento con las metas energéticas. Como parte de la política pública energética establecida mediante la Ley 17-2019 se establecen metas específicas para una transición hacia las fuentes de energía renovable o alternativas.

Para el cumplimiento con las metas específicas existen procesos en curso para la contratación de generación de energía renovable en proyectos de gran escala que aporten el agregado de 3,750 MW, bajo los que al momento se han adjudicado contratos para aproximadamente 900 MW. A junio del 2023, la cantidad de clientes prosumidores (participantes del programa de medición neta) es de 85,662. La aportación de energía aproximada de estos clientes a la red eléctrica es de 336,000 MWh al año. Considerando la aportación de los clientes a la red y la producción de energía renovable de gran escala, representa una reducción aproximada de 456,744 toneladas de $CO_2e$ al año.

Actualmente, en Puerto Rico se han desarrollado proyectos comunitarios de energía renovable, los cuales han sido ejemplos para otras comunidades. Entre estos, Casa Pueblo en Adjuntas provee energía solar a comunidades de bajos recursos, a personas con padecimientos de salud y a comercios en el casco urbano. Otro ejemplo es la microrred de Castañer, la cual suple energía renovable a cinco comercios y dos residencias, además de contar con dos cargadores para vehículos eléctricos.

Para que Puerto Rico pueda alcanzar la meta de 100 % de energía renovable al 2050, además de los proyectos de gran escala y la aportación de los prosumidores, se han recibido o se han asignado fondos federales para impactar varios sectores, tanto residenciales como comerciales. Ejemplo de estos son los $20 millones de la iniciativa Apoyo Energético del Programa de Política Pública Energética (PPPE) del Departamento de Desarrollo Económico y Comercio. Este programa ha beneficiado a 888 pequeños y medianos comerciantes. Otro programa es del USDA, al cual se le asignó $2,639,578 para

[132] Véase detalles de la generación en: https://genera-pr.com/data-generacion

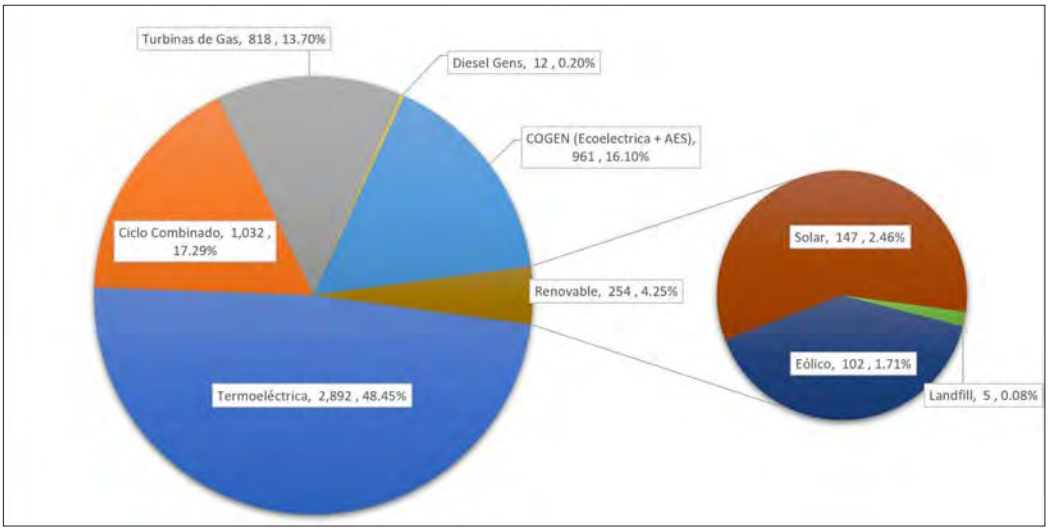
beneficiar a comunidades rurales. También el *Grid Deployment Office* del Departamento de Energía Federal (DOE) tiene asignados $1,000 millones para sistemas de energía renovable para clientes residenciales. Ya el gobierno federal asignó $9,600 millones a la isla para la reconstrucción de la red eléctrica devastada por el huracán María. Igualmente, a través de diferentes asignaciones del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de Estados Unidos, se han designado unos $800 millones para programas que promueven e incentivan el uso de sistemas solares y baterías para hogares.

Hasta abril del 2023, la AEE tenía 1,505,259 clientes de los cuales 1,369,786 (~91 %) eran clientes residenciales, 120,420 (8 %) clientes comerciales y 15,053 (menos del 1%) clientes industriales[133]. En cuanto a las ventas de energía para ese mismo período, la AEE generaba aproximadamente 16 TWh (16,000,000 MWh). De esta generación (datos aproximados), 43 % la consume el sector residencial, 45 % la consume el sector comercial y 11 % el sector industrial; un 1 % corresponde a la demanda de energía por iluminación y áreas comunes en los municipios.

La AEE cuenta con varias plantas generatrices y de apoyo (generadores de diésel), las cuales son de diferentes tipos de generación según muestran las ilustraciones 15 y 16.

**Ilustración 15.**

*Capacidad de generación de energía de la AEE (MW)*

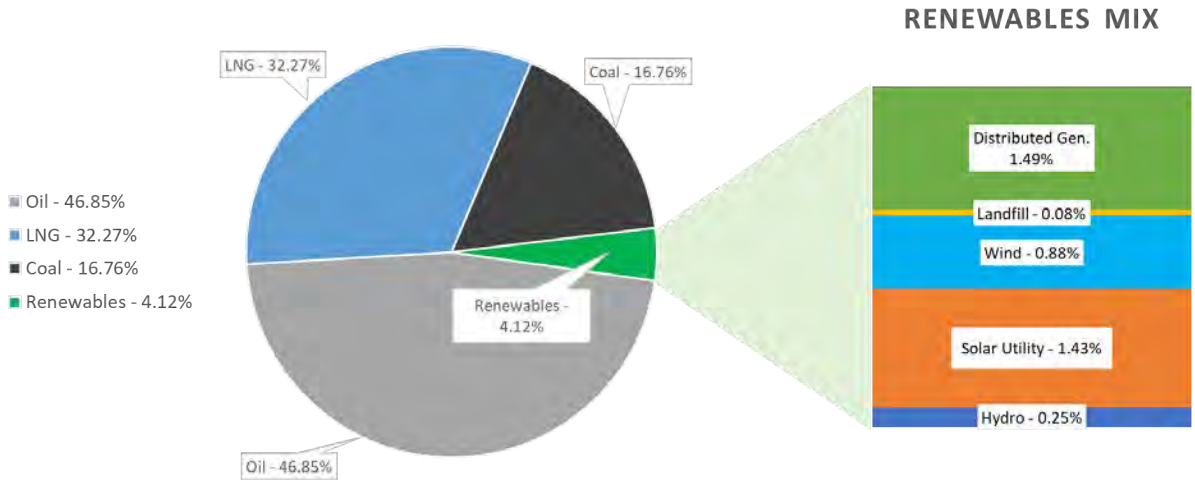



Fuente: Gráfica basada en datos de las capacidades de las plantas de generación obtenidas de la AEE (*2021-10-01 PREPA generating units availability*).

[133] Véanse los datos en indicadores.pr.

**Ilustración 16.**

*Distribución de la generación a 2022*




Fuente: https://energia.pr.gov/en/dockets/?docket=nepr-mi-2019-0016

Alrededor del 96 % de la generación de electricidad de la AEE utiliza combustibles fósiles. Solo el 4.12 % de la generación eléctrica proviene de fuentes renovables. Como parte de la generación de electricidad, no se están considerando los 98 MW de las plantas hidroeléctricas que están fuera de servicio y que son, también, fuentes de energía renovables.

Para el 2023, No todas las unidades están disponibles debido a que están fuera de servicio por mantenimiento o a que la AEE decidió tenerlas fuera de servicio debido al alto costo de reparación.

**Ilustración 17.**

*Lista de unidades de generación operacionales*

| Generator Name | Start of Operations | Fuel | Nameplate Capacity (MW) | Available Capacity (MW) | Historic Forced Outage Rate (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| AES 1 | 2002 | Coal | 227 | 227 | 3 |
| AES 2 | 2002 | Coal | 227 | 227 | 3 |
| Aguirre Combined Cycle 11 | 1977 | Diesel | 296 | 220 | 40 |
| Aguirre Combined Cycle 21 | 1977 | Diesel | 296 | 100 | 30 |
| Aguirre Steam 1 | 1971 | Bunker | 450 | 370 | 10 |
| Aguirre Steam 2 | 1971 | Bunker | 450 | 350 | 10 |
| Costa Sur 5 | 1972 | Natural Gas | 410 | 350 | 10 |
| Costa Sur 6 | 1973 | Natural Gas | 410 | 350 | 15 |
| EcoEléctrica | 1999 | Natural Gas | 530 | 530 | 2 |
| Palo Seco 3 | 1968 | Bunker | 216 | 190 | 15 |
| Palo Seco 4 | 1968 | Bunker | 216 | 160 | 15 |
| San Juan 7 | 1965 | Bunker | 100 | 70 | 30 |
| San Juan 9 | 1968 | Bunker | 100 | 95 | 10 |
| San Juan Combined Cycle 5 | 2008 | Diesel / Natural Gas | 220 | 200 | 7 |
| San Juan Combined Cycle 6 | 2008 | Diesel / Natural Gas | 220 | 200 | 7 |
| Cambalache 2 | 1998 | Diesel | 82.5 | 76 | 10 |
| Cambalache 3 | 1998 | Diesel | 82.5 | 75 | 10 |
| Mayagüez 1 | 2009 | Diesel | 55 | 50 | 30 |
| Mayagüez 2 | 2009 | Diesel | 55 | 50 | 30 |
| Mayagüez 3 | 2009 | Diesel | 55 | 50 | 30 |
| Mayagüez 4 | 2009 | Diesel | 55 | 50 | 30 |
| Palo Seco Mobile Pack 1-33 | 2021 | Diesel | 27 each (81 total) | 81 | 9 |
| 7 Gas Turbines (Peakers)4 | 1972 | Diesel | 21 each (147 total) | 147 | 40 |
| **Total** | | | **4,981** | **4,218** | — |

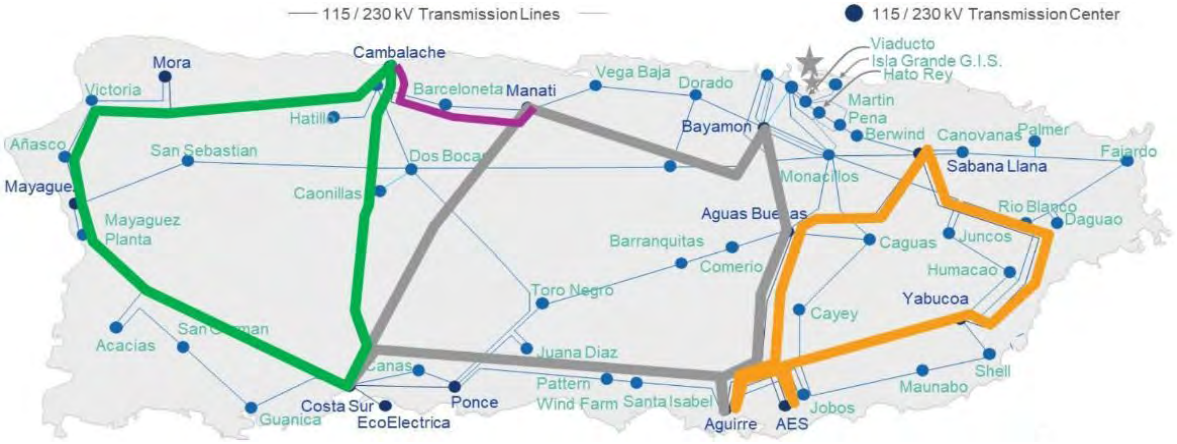
Fuente: Generation Resources Adequacy Analysis, páginas 28-29.

Según muestra la Ilustración 18, el sistema de transmisión contiene 178 centros de transmisión que operan a diferentes niveles de voltaje (230 KV, 115 KV y 38 KV). Estos centros interconectan sobre 1,100 millas de líneas de transmisión (230 KV y 115 KV) y sobre 1,500 millas de subtransmisión a 38 KV. Del sistema de distribución, el cual sirve a los 1.5 millones de clientes, se utilizan cerca de 1,200 circuitos con casi 32,000 líneas de distribución, incluyendo cerca de 17,000 millas de voltaje primario y aproximadamente 15,000 millas de líneas secundarias[134].

[134] Tomado del Plan Fiscal 2021 de la AEE, según aprobado por la JSF.

**Ilustración 18.**

*Sistema de transmisión eléctrica de Puerto Rico*




Fuente: Plan Fiscal de la AEE 2021, certificado por la Junta de Supervisión Fiscal, *Exhibit 5*, p.26.

Todo este sistema recorre la isla con sus retos geográficos, dado que las unidades principales de generación de mayor eficiencia (70 %) se encuentran en el sur y la mayor demanda de energía se encuentra al norte. Este tipo de estructura eléctrica provoca, en definitiva, un problema de mitigación y resiliencia, el cual ya Puerto Rico experimentó con los huracanes Irma y María (2017), los terremotos del 2020 y el huracán Fiona en el 2022.

En los capítulos 6 y 7, el P-MARCC provee las guías para minimizar cualquier impacto en la demanda del sistema eléctrico de Puerto Rico y eliminar las emisiones de gases de efecto de invernadero debido a la generación de electricidad por el uso de unidades con combustibles fósiles. El Plan considera la diversificación de la generación de energía a través de la isla para reducir significativamente la pérdida de energía.

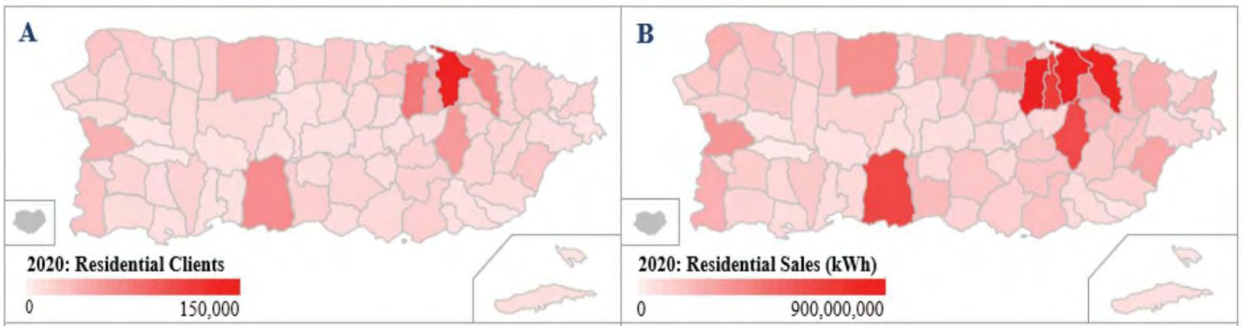
## Población de Puerto Rico y clientes residenciales

De acuerdo con el Censo de Estados Unidos del 2020, Puerto Rico cuenta con 3.2 millones de habitantes. El Plan Fiscal 2021[135] aprobado por la Junta de Supervisión Fiscal (JSF) incluye una distribución de los clientes residenciales y la magnitud de consumo de energía (Ilustración 19).

[135] Vea el documento en: https://drive.google.com/file/d/1dXFJldZpOIsAObMZDBd7T2P3j2xMPaal/view

**Ilustración 19.**

*Clientes residenciales y consumo energético en Puerto Rico*




Fuente: Plan Fiscal de la AEE 2021, certificado por la Junta de Supervisión Fiscal, segmento del *Exhibit 7*, p.31.

Podemos observar que la mayor cantidad de la demanda de energía residencial se concentra en el área metropolitana y las grandes ciudades como Ponce, Mayagüez y Arecibo.

El Censo establece que aproximadamente el 44.5 % de los habitantes de Puerto Rico vive en nivel de pobreza; en 36 de los 78 municipios el 50 % o más de su población estaba en situación de pobreza. Una unidad familiar de tres personas con un ingreso familiar anual menor de $19,985 es clasificada como una familia en pobreza.

Estos datos son de extrema importancia a la hora de considerar la estrategia de proveer electricidad a los clientes de la AEE con sistemas de energía renovable o alternativas.

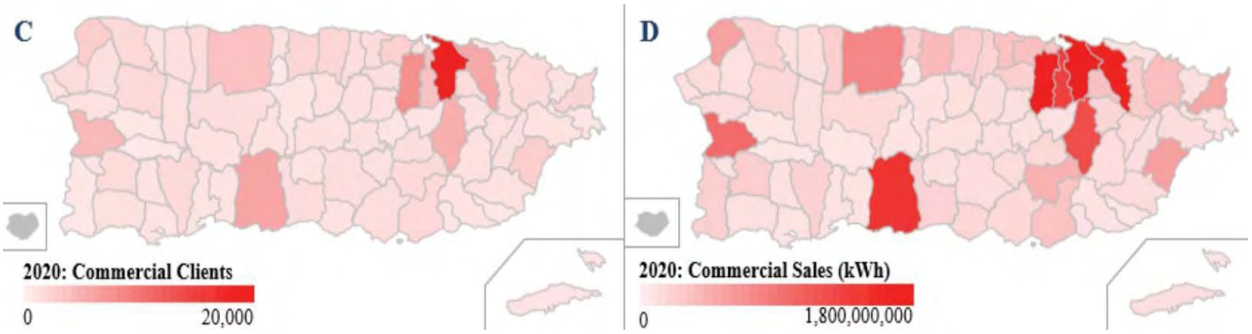
### Clientes comerciales

Los clientes comerciales son el mayor grupo de clientes de la AEE en términos de demanda con cerca del 40 %.

De acuerdo con la distribución presentada en el Plan Fiscal de la AEE del 2021, la mayoría de los clientes comerciales se concentran en el área metropolitana. Sin embargo, en términos de demanda, además del área metropolitana, sobresalen los pueblos de Ponce, Mayagüez, Arecibo y Caguas (Ilustración 20).

**Ilustración 20.**

*Clientes comerciales y consumo energético en Puerto Rico*




Fuente: Plan Fiscal de la AEE 2021, certificado por la Junta de Supervisión Fiscal, segmento del *Exhibit 7*, p.31.

Por la naturaleza de las operaciones, en condiciones normales la demanda de este sector es bastante estable ya que utilizan siempre los mismos equipos y el tipo de operación no varía. Se puede observar una variación significativa en la demanda en eventos como la pandemia y desastres naturales. También, si comparamos diferentes tipos de clientes comerciales, se puede observar una diferencia en la demanda. Por ejemplo, un cliente comercial de sobre 5,000 pies cuadrados tendrá un consumo mayor, ya que puede que cuente con equipos de refrigeración de mayor consumo que un cliente comercial con solo 1,000 pies cuadrados. Aquí la importancia de determinar la intensidad en energía a base de la demanda y área del edificio. En términos tarifarios, las tarifas de electricidad para los clientes comerciales son las más altas cuando las comparamos con los clientes residenciales e industriales.

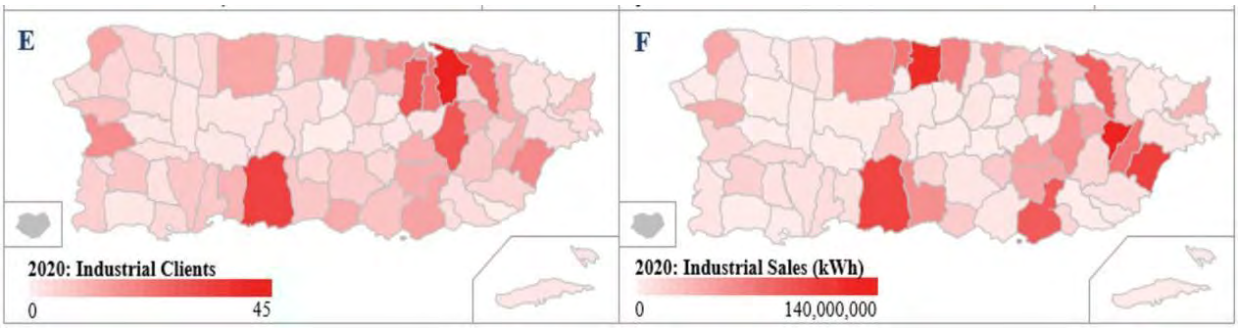
## Clientes industriales

De los clientes de la AEE/LUMA, menos del 1 % son clientes industriales. Mientras, la demanda energética de estos clientes es cerca de un 10 %. La mayoría de estos clientes recibe energía de las líneas de transmisión de 115 KV o de 38 KV.

La mayor concentración de industrias en Puerto Rico se encuentra en las áreas norte, metropolitana y sur. Algunos clientes industriales tienen una tarifa tiempo de uso (TOU-T), la cual les permite tener una tarifa en horas pico (de mayor demanda) y otra tarifa en horas no pico.

**Ilustración 21.**

*Clientes industriales y consumo energético en Puerto Rico*




Fuente: Plan Fiscal de la AEE 2021, certificado por la Junta de Supervisión Fiscal, segmento del *Exhibit 7*, p.31.

Algunos clientes industriales se han movido hacia la generación interna de energía para reducir costos operacionales y mantener sus operaciones durante períodos en que la red eléctrica no esté disponible o esté inestable. Estos equipos de generación se conocen como CHP (*Combined Heat and Power*) y, además de generar electricidad, con el calor emitido por los generadores producen vapor, agua caliente y agua fría utilizando enfriadores (*chillers*) de absorción. La generación de estas utilidades permite reducir las emisiones de $CO_2$ ya sea por eficiencia de los equipos y por la reducción en la utilización de combustible para las calderas en la generación de vapor o agua caliente. Esos sistemas de CHP utilizan gas natural, propano, diésel o la opción de tener disponibles dos combustibles, como gas natural y diésel. La utilización del tipo de combustible dependerá del precio y la disponibilidad. Eventualmente estos sistemas podrán utilizar hidrógeno "verde" para eliminar por completo las emisiones de $CO_2$ y otros gases de invernadero. Algunos clientes industriales complementan los sistemas de CHP con sistemas de paneles fotovoltaicos con almacenamiento de energía.

## 4.2. Infraestructuras

El cambio climático afecta y seguirá afectando de forma progresiva y adversa a todo el país con el aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes. En especial, afectará a las comunidades costeras, las vías de acceso vehicular a esos lugares, la infraestructura eléctrica y sanitaria y el disfrute de las costas y sus playas como recurso ecoturístico según aumentan los niveles del mar.

Las centrales termoeléctricas que operan con la quema de combustible fósil ubican cerca de la costa para hacer intercambios de calor generado por sus procesos con las temperaturas más bajas del agua del mar. Los aumentos en la temperatura por estos intercambios afectan la vida marina. Los aumentos en el nivel del mar afectan adversamente estos procesos y los sistemas de cimientos de la estructura portante de las centrales. Escenarios similares ocurren con las plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados cercanas al mar u otros cuerpos de agua.

Los escenarios típicos que confrontamos pueden verse claramente utilizando el municipio de Cataño como ejemplo de los daños que ya se experimentan y que aumentarán en el futuro cercano. En la central de Palo Seco, por ejemplo, será difícil el acceso al lugar por la entrada del mar, según las proyecciones de la NOAA para el año 2050. El Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín en Isla Verde, Carolina, ya comienza a tener eventos de inundación prematura en algunas de sus instalaciones motivando a expertos en cambio climático a proyectar la posible mudanza de la actividad aérea de este al Aeropuerto Internacional Rafael Hernández en Aguadilla, con las repercusiones económicas, viales, sociales y culturales, entre otras, que ello implica.

### El huracán María

El paso del huracán María evidenció la fragilidad del sistema vial, en específico aquellas vías costeras y otras que se encuentran en zonas bajas o inundables. La compleja y extensa red de carreteras hace muy difícil su mantenimiento, limitando el acceso a diferentes comunidades que dependen de ella. Este escenario apunta a la necesidad de una visión holística de la planificación del suelo boricua y a cuán rigurosos debemos ser en hacer cumplir el Plan de Uso de Terrenos de forma inviolable por visiones desarrollistas de corto plazo.

La red de transmisión y distribución que fue derribada por el huracán puso de manifiesto cuán difícil y complejo es su mantenimiento. Si medimos el largo de los conductores de esta red, el total sería equivalente a 1.3 circunferencias alrededor del planeta Tierra. Si a esto añadimos que gran parte de esa red transcurre por topografías pronunciadas, nos percataremos de la futilidad y quizás imposibilidad de darle mantenimiento a una infraestructura eléctrica tan compleja y extensa. Por esa misma razón, el sistema de iluminación pública es poco confiable, ya que depende exclusivamente de su energización a través de redes que requieren conexión continua con el sistema de generación.

### Las emisiones de $CO_2$ y la industria de la construcción

Las emisiones de dióxido de carbono están relacionadas íntimamente con los procesos de construcción, mantenimiento y operación de edificios y ambientes construidos. De acuerdo con el más reciente Informe del Inventario de Gases de Efecto de Invernadero 2019 y 2021 de Puerto Rico, “los sectores industriales responsables de las emisiones derivadas del uso de procesos y productos desempeñan un papel importante en la economía puertorriqueña. La vulnerabilidad climática de Puerto Rico ha creado una necesidad frecuente de construir y reconstruir edificios a raíz de fenómenos climáticos adversos como huracanes”[136].

El informe confirma que “la industria del cemento es esencial para construir y reconstruir infraestructuras”. Establece que en el 2006, “Puerto Rico utilizó 1.9 millones de toneladas de cemento al año, o 500 kg (0.5 toneladas) per cápita; en todo el mundo, el uso medio

[136] Larnerd, N.J., Ballard, S., and Kurtzer, J. December 7, 2022. *Humanitarian Response and Climate Resilience in Puerto Rico*. *Center for Strategic and International Studies.* Disponible en: https://www. csis.org/analysis/humanitarian-response-and-climate-resilience-puerto-rico.

anual de cemento per cápita es de 300 kg (0.3 toneladas) per cápita[137]". Según el informe, "la producción de cemento fue uno de los principales contribuyentes al sector industrial, pero ha ido disminuyendo en la última década debido a la desaceleración de demanda por parte de contratistas y promotores de la construcción[138]. Sin embargo, como lo demuestra el repunte en la producción de cemento en 2018 y 2022 después de los huracanes Irma, María y Fiona, se puede esperar que la escalada de eventos relacionados con el cambio climático provoque un aumento de la producción de cemento en Puerto Rico para reconstruir las estructuras destruidas por los desastres naturales".

**Estructuras gubernamentales frente al reto energético**

En el 1973, Puerto Rico se hizo consciente de su dependencia extrema de los combustibles derivados del petróleo (fósiles) motivado por el embargo petrolero de los países exportadores de petróleo. El incremento en el costo de energía eléctrica motivó aumentos significativos en el costo de la construcción y alarmó a todos los sectores de la economía. Una vez superada aquella crisis se regresó a una "normalidad velada" donde el espectro de futuros problemas petroleros tendría consecuencias similares.

Fue posterior a esa fecha que, bajo la presidencia de Jimmy Carter en Estados Unidos, se creó el Departamento de Energía federal y, en la isla, el Departamento de Energía de Puerto Rico. Las funciones del Departamento de Energía han pasado por varias agencias del gobierno incluyendo el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, el Departamento de Asuntos del Consumidor y el Departamento de Desarrollo Económico y Comercio. El nombre de la oficina ha cambiado según las administraciones bajo las que ha operado, a saber: el Departamento de Energía de Puerto Rico, la Administración de Asuntos de Energía de Puerto Rico y el Programa de Política Pública Energética. Todos estos programas han estado siempre subfinanciados. No fue hasta el paso del huracán María que se dramatizó la fragilidad del sistema eléctrico del país. Es ahora, durante el proceso de restauración, actualización y modernización del sistema de generación y su red de distribución, que se discuten los cambios necesarios considerando los asuntos ambientales relacionados con la contaminación ocasionada por las emisiones de dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxido nitroso y, sobre todo, por las de dióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto de invernadero que ocasionan el cambio climático.

En el 2004 se prepararon las Guías de Diseño para instalaciones Ecoturísticas y de Turismo Sostenible para la Compañía de Turismo de Puerto Rico, que se utilizan de forma voluntaria por diseñadores y empresarios que desean crear instalaciones sostenibles y resilientes que reduzcan los consumos de energía.

---

[137] 1) Martín, C. October 12, 2017. How Hurricane Maria exposed Puerto Rico's "colonial boom and bust. *Urban Institute*. Disponible en: https://www.urban.org/urban-wire/how-hurricane-maria-exposed- puerto-ricos-colonial-boom-and-bust; (2) Monteiro, P.J.M, Miller, S.A., Horvath, A. 2017. *Towards sustainable concrete*. *Nature Materials*, 16, 698-699. https://doi.org/10.1038/nmat4930.

[138] *Economist Intelligence.* May 13, 2016. "Planning Board estimates a deeper recession in 2016/17". *Economist Intelligence*. Disponible en: https://country.eiu.com/article. aspx?articleid=364212220&Country=Puerto%20Rico&topic=Economy&subto_9.

## Los edificios sostenibles y resilientes

En el 1979 se publicó el libro *Fresco Gratis,* el cual abordaba el tema de la integración de los edificios con la naturaleza con atención especial a "sistemas pasivos" en Puerto Rico. En este se discuten los elementos sobresalientes del uso de la vegetación, el agua, la topografía, la orientación, la ventilación natural, los huecos de fenestración (puertas, ventanas y tragaluces) y el uso de materiales, entre otros, para que los edificios fuesen más frescos, saludables y que consumieran menos recursos y energía. Esta fue la primera publicación de carácter popular que abordó el tema de la arquitectura sostenible en Puerto Rico, antes de que se acuñara y popularizara el término "sostenibilidad". Su contenido sigue teniendo relevancia.

## Modelaje digital

Los tiempos, la sociedad, la arquitectura, la ingeniería y la construcción han cambiado enormemente desde entonces en Puerto Rico. Ya no se diseña con estrategias de aproximación como resultado de la experiencia; ahora utilizamos programación (*software*) basada en conocimiento científico y empírico para modelar el comportamiento estructural y térmico de la envoltura de los edificios, incluyendo su fenestración. Se modela digitalmente el potencial de iluminación natural y la radiación solar, se pronostica el potencial de cosechas de aguas de lluvia, el comportamiento estructural de nuestros edificios, el costo del ciclo de vida y hasta las emisiones proyectadas de $CO_2$.

## La ética de la construcción

Desde el 1973, cuando el mundo occidental contemporáneo se enfrentó por primera vez a la crisis de energía basada en la quema de combustibles fósiles, despertamos de repente en Puerto Rico de un mundo de excesos y abundancia a uno finito donde teníamos que medir la manera en que consumimos los recursos de la Tierra. Se redactaron textos encaminados a fomentar una ética de la construcción para atender esta situación: la ética del diseño y construcción de edificios sostenibles que reducen su impacto negativo en el ambiente y en los seres humanos que los habitamos y que inciden en los factores que ocasionan el cambio climático. En la búsqueda de soluciones al reto energético, los arquitectos e ingenieros como gremio propusieron edificios supersellados que junto a las emisiones de los materiales sintéticos que se fabrican y utilizan en los espacios interiores creó el síndrome de edificios enfermos. El reducir la temperatura del agua para conservar energía nos alertó sobre la bacteria *Legionella* que ocasionó la muerte de varios legionarios de América (de aquí su nombre) mientras celebraban su convención anual en el hotel Bellevue-Stratford en Filadelfia.

## Organizaciones sin fines de lucro y el cambio climático en la industria de la construcción

En el 2004 se inscribió en el Departamento de Estado de Puerto Rico el Capítulo del Caribe del *US Green Building Council* con sede en San Juan[139]. Operó activamente como Capítulo del Caribe hasta el 2018. Desde entonces se ha mantenido como un capítulo pasivo, en función de los planes de regionalización que la organización implantó a nivel nacional.

El capítulo ha sido presidido por distinguidos profesionales de la industria del diseño y construcción de edificios verdes[140]. En la actualidad, el movimiento que propulsa el diseño, construcción, operación y mantenimiento de edificios verdes trasciende las disciplinas que tradicionalmente se relacionan con la industria de la construcción. El tema se ha popularizado, aunque aún queda un recorrido largo que completar de la "moda verde" a la "acción verde".

ACONER, la Asociación de Contratistas y Consultores de Energía Renovable de Puerto Rico ha dejado una huella importante en la historia de las fuentes renovables del país, impulsando el uso de estas fuentes en todos los niveles. La organización fundada en el 2007 cuenta con 102 miembros, la gran mayoría de ellos instaladores de pequeña y mediana escala de sistemas solares fotovoltaicos. Por otro lado, desde hace más de una década, Para la Naturaleza ha alertado a la población que el porcentaje de conservación de la tierra en Puerto Rico es mucho más bajo que los promedios de los Estados Unidos o el Caribe. El plan de Para la Naturaleza es aumentar la escala de conservación usando el Mapa 33 como una herramienta de planificación, centrándose en un enfoque de cuencas hidrográficas. Para la Naturaleza prioriza la selección de tipos de tierras y sitios para la conservación proactiva a través de adquisiciones, servidumbres y donaciones. La conservación actual de terrenos alcanza casi el 16 % de la tierra que debe conservarse para alcanzar su meta de 33 % para el 2033. Debido a que el mapa atiende con prioridad la vegetación y, en especial, las zonas boscosas, puede ser una herramienta de planificación a base de la cantidad de $CO_2$ que se secuestra, ahora y en el futuro, con estos planes de conservación.

El 27 de agosto de 2013 y por invitación del Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable de la Universidad Metropolitana (hoy Universidad Ana G. Méndez, Recinto de Cupey), el Senado de Puerto Rico recibió al destacado profesor y ecólogo Richard Heinberg, quien discutió el tema del drástico cambio internacional en términos energéticos y económicos, y exhortó a explorar opciones ante la falta de crecimiento económico, entre otros asuntos. Presidente fundador del *Post Carbon Institute*, Heinberg es una autoridad internacional en la discusión de conceptos de descarbonización del planeta. El 28 de agosto, Heinberg se presentó, además, en el Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. El resultado neto de sus exhortaciones fue inocuo.

---

[139] El capítulo se fundó por los arquitectos Fernando Abruña y Luis Huertas y la planificadora Peggy Van Kirk.

[140] Algunos de sus presidentes fueron los arquitectos Fernando Abruña, Jeannette Rullán, Cristina Algaze, Vincent Pieri, el ingeniero Jesús Garay y la educadora ambiental Jacqueline Torres.

En octubre de 2018, el Instituto de Competitividad y Sostenibilidad de Puerto Rico junto al *Rocky Mountain Institute* publicó el informe titulado: *Public Collaborative for Puerto Rico's Energy Transformation*. En el documento se hace un análisis del futuro deseado de la infraestructura energética del país. El informe fue preparado con la participación de organizaciones privadas y sin fines de lucro, oficiales del gobierno, líderes de la industria, representantes del sector comunitario, consultores y expertos en Puerto Rico. Este informe es uno de los más importantes en los últimos años y se utiliza como referencia al hablar del sistema eléctrico del país.

En el verano de 2020, Para la Naturaleza completó un estudio sobre la potencial viabilidad de un programa de *Carbon Credits* titulado: *Assessing Forest Carbon Offsetting Potential in Puerto Rico's Para la Naturaleza (PLN) Land Trust* en consorcio con *Winrock International* (un líder reconocido en desarrollo internacional que brinda soluciones a algunos de los desafíos sociales, agrícolas y ambientales más complejos del mundo. Actualmente, PLN está en proceso de viabilizar un banco local como parte de la institución para la transacción de *Carbon Credits (Carbon Offsets)* localmente.

**Sistemas de certificación e iniciativas gubernamentales y de política pública en Puerto Rico**

En el 2007 se emitió una orden ejecutiva (OE-2007-41) para fomentar la construcción de edificios verdes en Puerto Rico, requiriendo la aplicación del Sistema *LEED* (*Leadership in Energy and Environmental Design*) en proyectos de edificación con área no menor de 10,000 pies cuadrados y certificación *LEED Silver* en edificios de 30,000 pies cuadrados o más. Luego se aprobó la Ley 229 del 9 de agosto de 2009, conocida como la "Ley para promover la eficiencia en el uso de energía y recursos de agua en las edificaciones nuevas y existentes del Estado Libre Asociado de Puerto Rico". Desde entonces se han presentado numerosos proyectos enfocados en la sostenibilidad, el diseño y construcción de edificios verdes para reducir los consumos energéticos y las emisiones de $CO_2$, pero el resultado neto es que la mayoría no se ha aprobado y que la Ley 229-2009 parece ser letra muerta, pues no se le ha dado prioridad a su aplicación.

No hay duda, sin embargo, de que lo que en el pasado fue una discusión marginal es ahora una medular. Existe ya la masa crítica para que la industria del diseño y construcción de edificios y muchos de sus componentes estén involucrados en este importante movimiento. En Puerto Rico existe una robusta participación en el tema por parte de los gremios de diseñadores, planificadores, arquitectos, ingenieros y manufactureros. Los ferreteros, contratistas, tasadores y agentes de bienes raíces (*realtors*) están rezagados con una participación mínima o inocua. Es necesario que estos gremios se integren de forma más proactiva en promover soluciones y educación a sus miembros para mitigar el impacto del cambio climático en Puerto Rico.

Aunque se han diseñado varios proyectos sostenibles (que reducen las emisiones de CO2 al ambiente) antes de que existieran sistemas de certificación de edificios verdes (tales como "La Casa Ausente" y la Escuela Ecológica de Culebra), no es hasta que se comienzan a popularizar los sistemas de certificación que se conciencia al público general. El sistema más prestigioso y riguroso de certificación es el sistema *LEED* del

*US Green Building Council* (USGBC) administrado por el *Green Building Certification Institute*[141].

Al 13 de marzo de 2023 se habían certificado 136 proyectos *LEED*. Aunque es una cantidad considerable desde el inicio del Capítulo del Caribe del USGBC, la realidad es que el total de edificios con esta certificación no llega al 1 % del total en la isla. Hay que destacar que doce de estos son escuelas que se remodelaron o construyeron durante la vigencia del Programa ARRA. Estas escuelas sirven como instrumento pedagógico sobre el cambio climático y permitirán que las nuevas generaciones de estudiantes, profesores y administradores aprendan y vean los edificios sostenibles y descarbonizados como la norma y no como la excepción. Desde la fundación del capítulo del Caribe del USGBC se han acreditado 198 profesionales en el sistema *LEED* para cumplir con el proceso de certificación de edificios verdes que reduzcan su impacto al ambiente y sus emisiones de $CO_2$. La información que se recogió durante los años de operación del capítulo del Caribe del USGBC distribuía su membresía de la siguiente forma: 24 % de los miembros eran arquitectos, 15 % ingenieros, 7 % contratistas y 54 % de otras disciplinas, lo cual apunta a la diversidad de personas que se han interesado en el tema. Ya no es una discusión exclusiva de arquitectos o ingenieros; ahora el público general está exigiendo edificios verdes o sostenibles que mitiguen, eliminen o cancelen sus emisiones de carbono al ambiente para controlar la continua aceleración del cambio climático. Luego del paso del huracán María en el 2017, se añadieron a los requisitos de sostenibilidad los de resiliencia.

El sistema *LEED* no es una panacea para la certificación de edificios verdes que reduzcan su impacto en las emisiones de CO2 al ambiente. Existen otros programas de certificación que abonan asuntos que no se tratan propiamente por el sistema *LEED*. Entre ellos, se destacan el sistema BREEAM, *Passive Haus, Green Building Initiative* (*Green Globes*) y los programas *Energy Star*, *WaterSense* y *Air Plus* de la EPA. Hay muy pocos ejemplos de estos programas en la isla, excepto el de *Energy Star*. Este programa que los consumidores conocen a través de su logo (una estrella con un arco fugaz) estampado en enseres domésticos ha confeccionado también un programa de certificación para edificios energéticamente eficientes. Actualmente, 37 edificios en Puerto Rico tienen esta certificación con un equivalente de casi dos millones de pies cuadrados de construcción.

Existe también el *EPA GHG* (*Green House Gas*) *Reporting Program*, en el cual unos pocos propietarios de edificios en Puerto Rico informan sobre sus emisiones. Hasta el momento se identifican aproximadamente ocho informantes.

En el 2009 se inició el Programa de Permiso Verde como parte del Reglamento Conjunto de Puerto Rico. El permiso verde –de carácter ministerial– está definido como: “permisos para estructuras existentes o propuestas que cumplen con la precualificación de los parámetros necesarios para obtener una certificación que cumpla con las guías de diseño de permiso verde establecidas en las Guías para Proyectos Verdes del Reglamento Conjunto”. Su propósito es mejorar la salud pública, la seguridad y el bienestar general, mejorando el diseño y la construcción de diversos proyectos y edificios mediante el uso de los conceptos de construcción que tienen un impacto ambiental positivo y el fomento

[141] El primer edificio en certificarse *LEED* en Puerto Rico fue el de la compañía *Standard Refrigeration* bajo su presidente y dueño, el ingeniero mecánico Juan S. Quintana.

de las prácticas de la construcción sostenible. Los gerentes de permiso y el personal de la División de Evaluación de Cumplimiento Ambiental de la OGPe son los responsables de su evaluación. El Permiso Verde ofrece reducciones en los pagos de exacciones (impuestos) al momento de diseñar y desarrollar proyectos de construcción. Lamentablemente, la complejidad del proceso actual de este programa ha limitado sustancialmente su implantación y éxito.

**Reconocimientos, líderes y precursores**

Además de las certificaciones del USGBC y de *Energy Star*, la EPA ha conferido el *Environmental Quality Award* a varios proyectos verdes construidos en Puerto Rico, incluyendo la Escuela Ecológica Niños Uniendo al Mundo (programa Montessori) en el 1999 y la Escuela Ecológica de Culebra, del Departamento de Educación de Puerto Rico, en el 2006[142].

Varios proyectos verdes en Puerto Rico han sido destacados en revistas prestigiosas locales e internacionales. También ha habido esfuerzos informativos que focalizan entre otros temas el de los edificios sostenibles para mitigar el cambio climático y los efectos del ambiente construido en la presente crisis climática global[143].

Las tipologías edilicias que ya han incorporado estrategias verdes para combatir los efectos del cambio climático en su diseño incluyen, entre otras: edificios de oficinas, edificios industriales, de educación, de gobierno, corporaciones públicas, viviendas privadas y de interés social, oficinas federales, fábricas, farmacéuticas, centros de gobierno y edificios municipales. No obstante, el tener esta gran variedad edilicia no despinta que aún queda un gran camino que recorrer para lograr la meta de descarbonizar la isla para el 2050.

Uno de los retos importantes a los que nos enfrentamos es cómo crear edificios de alto rendimiento que cumplan con estos parámetros, que nos ofrezcan mayores beneficios ambientales y cuya equivalencia de beneficio económico y reducción de emisiones de $CO_2$ sea mayor que las inversiones que conlleva contrarrestar sus daños.

[142] A nivel nacional, este prestigioso premio ha reconocido también el trabajo del arquitecto Fernando Abruña (2006), del entonces alcalde William Miranda Marín del Municipio de Caguas (2006) y de la *Revista Ambiental Corriente Verde* (2013).

[143] Algunas de las publicaciones que han destacado estos proyectos puertorriqueños son *Environmental Building News*, *Green Builder Magazine*, *Architectural Record*, la revista *Entorno*, del Colegio de Arquitectos y Arquitectos Paisajistas de Puerto Rico (CAAPPR) y la revista *Dimensión*, del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (CIAPR). También se han publicado a través de sitios en la internet como *Homes Across America*, *Building Green.com* y en el canal de televisión *Home and Gardens Television*. Además, localmente se publica por su editora, Alma Reyes, la *Revista Ambiental Corriente Verde*, que focaliza entre otros temas el de los edificios sostenibles para mitigar el cambio climático. La columna Dialogando Verde, del arquitecto Fernando Abruña que trató la discusión del ambiente construido y su impacto en el cambio climático se publicó desde el 2011, por casi ocho años consecutivos e ininterrumpidos en la (ahora extinta) *Revista Construcción* en la edición sabatina del periódico *El Nuevo Día.*

## Los códigos de construcción y el cambio climático

El Código Internacional de Conservación de Energía (IECC) aumenta rápidamente en rigor. El IECC del 2021 es efectivamente un código de envoltura (*envelope*) de energía cero que supera los requisitos actuales del programa *Home Zero Energy Ready Home* del Departamento de Energía y sirve como referencia para los requisitos proyectados para el programa en el 2024.

Por otro lado, queda un enorme tramo por recorrer en el renglón de desperdicio de energía y emisiones de $CO_2$ ocasionados por la contaminación luminocturna. Uno de los proyectos más exitosos que atiende esta condición ha sido el de la Reserva Natural Cabezas de San Juan, en Fajardo, recipiente de un premio a nivel mundial. Además, hay que destacar el esfuerzo de carácter nacional que supone el proyecto del Bosque Modelo y Casa Pueblo en Adjuntas, pionero en sostenibilidad comunitaria y propulsor del uso de fuentes renovables a nivel comunitario.

## Transportación y accesibilidad

El Tren Urbano es también una estrategia de sostenibilidad que puede mitigar las emisiones de $CO_2$. Este proyecto no madurará exitosamente hasta que se aumenten las modalidades y opciones de transporte desde cada estación, dándole prioridad a la designación de ciclovías y mejoras en la infraestructura peatonal junto al desarrollo de núcleos urbanos alrededor de cada estación del tren (véase más sobre esto en la sección 4.3).

## Educación y cambio climático

Todas las escuelas de Arquitectura e Ingeniería y varios programas ambientales universitarios incluyen cursos de Sostenibilidad y Construcción Verde como parte de sus currículos. Varios institutos técnicos ofrecen cursos cortos y grados asociados en Fuentes Renovables de Energía. Además, existe el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Ana G. Méndez que ha editado varias publicaciones sobre el tema de Desarrollo Sostenible, destacándose el libro *10 Principios y 100 estrategias para el Desarrollo Sostenible de Puerto Rico*. Esta institución ofrece un certificado de Diseño Verde a través de su programa de educación continua. Se han publicado, por otros autores, varios libros sobre el tema de Edificios Verdes.

El *Puerto Rico Energy Center* (PREC) se inició en el 2005 como un esfuerzo prioritario de la Iniciativa Tecnológica del Centro Oriental (conocido como INTECO por sus siglas en español) con la colaboración del Departamento de Energía de los Estados Unidos, como una contribución para crear un futuro energético estable para la región y Puerto Rico. El Centro es operado por la Universidad Ana G. Méndez (Campus Gurabo) con la participación de docentes e investigadores de diferentes disciplinas y universidades.

## Innovación tecnológica local

Por otro lado, se destaca la fabricación de productos verdes incluyendo ventanas ecológicas como *BrightShade*[144], que actualmente se considera para la instalación en todas las escuelas públicas de Puerto Rico. También se desarrolló el "posterriqueño", diseñado por ingenieros y estudiantes del Recinto Universitario de Mayagüez (RUM) de la Universidad de Puerto Rico (UPR)[145], con el propósito de mejorar el sistema de iluminación pública de la isla. La luminaria está basada en la tecnología *Light Emitting Diode* (LED). Es capaz de reemplazar la luminaria actual que utiliza la tecnología *High Pressure Sodium* (HPS) de 100 vatios de consumo. Estos tipos de iniciativas impulsan la productividad nacional, la sostenibilidad y la reducción de emisiones de $CO_2$ al reducir los consumos de energía en los edificios mediante la innovación tecnológica.

En el 2007, *Standard Refrigeration* (*Mechanical Contractors*), en Guaynabo, recibió la primera y más alta certificación (Platino) del sistema *LEED*® v2.2 del USGBC en Puerto Rico. Este edificio de dos pisos incorpora tecnologías de uso eficiente de agua para el edificio y sus áreas verdes. El plan paisajista no requiere un sistema de riego permanente, reduciendo la necesidad de agua potable en el sitio. El proyecto incluye estrategias para mejorar la calidad del ambiente interior, incluyendo sistemas de monitoreo de $CO_2$ y el uso de materiales y pinturas de baja emisión. Además, se implantó un plan de calidad del ambiente interior durante las obras de construcción y antes de la ocupación para ayudar a mantener la comodidad y el bienestar de los ocupantes.

En noviembre del 2009, la Administración de Asuntos de Energía de Puerto Rico auspició la publicación del informe titulado *Achievable Renewable Energy Targets For Puerto Rico's Renewable Energy Portfolio Standard*[146]. Este informe aboga por el desarrollo de fuentes renovables a través de generación distribuida con especial atención a los techos de estructuras residenciales en el país.

En el 2011 se construyó Solaria, la primera Casa Ecológica prediseñada como prototipo para una firma privada en los terrenos de la Universidad Ana G. Méndez en Gurabo, como parte del *Puerto Rico Energy Center*[147].

Si deseamos transformar nuestros edificios a unos ecoamigables y que reduzcan las emisiones de $CO_2$ al ambiente, se hace necesario llevar los conceptos de eficiencia a otros renglones que tradicional y comúnmente no relacionamos con los consumos de energía y las emisiones de $CO_2$. Por ejemplo, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados requiere la instalación de un contador de agua adicional entre la cisterna que cosecha aguas de lluvia y el inodoro, que pueda conectarse a la misma para operar con esas aguas. Ese contador adicional se utiliza para facturar las aguas de lluvia que terminan en el sistema sanitario de la AAA. Esto desalienta el uso de esta estrategia que, además de conservar agua, reduce los consumos del agua tratada potable que la AAA suministra

144 El producto fue patentado en el 2014 por el arquitecto Fernando Abruña y fabricado por la compañía local *Air Master*.

145 El proyecto fue propulsado por el Dr. Arturo Massol de Casa Pueblo.

146 Los autores son los doctores Agustín Irizarry, Efraín O'Neill y José A. Colucci del RUM-UPR.

147 Solaria fue prediseñada por el arquitecto Fernando Abruña como prototipo para la empresa Villas Mi Antojo.

a través de sistemas que consumen energía y que típicamente operan con generadores que consumen combustibles fósiles.

Todavía quedan más barreras que salvar. No existe una cultura de tasación de edificios que pueda aquilatar el verdadero valor de aquellas edificaciones que reduzcan las emisiones de GEI que propician el cambio climático. Algunas estrategias que no se consideran comúnmente en la valoración (tasación) de edificios incluyen sistemas degeneración de energía, cosechas de aguas de lluvia, reúso de aguas grises, el uso de materiales de aislación, innovaciones tecnológicas en baños, cocinas, puertas, ventanas y otras estrategias que pueden ser de fácil adopción. De la misma manera, aunque hay adelantos en la educación de los corredores de bienes raíces[148], todavía el encontrar un corredor entendido en la materia es la excepción y no la regla.

Hay que destacar esfuerzos embrionarios en la banca comercial y en las cooperativas de ahorro y crédito para desarrollar instrumentos de financiación que posibiliten incorporar estrategias verdes en las construcciones nuevas y existentes, incluyendo sistemas solares fotovoltaicos y los calentadores de agua solares.

Todas estas acciones, programas, esfuerzos, proyectos e ideas cuelgan de un elemento fundamental que debe integrarse a la política pública de nuestro país. El Plan de Uso de Terrenos debe ser una pieza clave para el desarrollo sostenible de Puerto Rico de cara al reto que nos presenta el cambio climático.

**Vivienda sostenible y resiliente**

En el 2001, estudiantes con sus respectivos profesores de las escuelas de Arquitectura y de Ingeniería de la Universidad de Puerto Rico obtuvieron el segundo lugar en la competencia más importante (*Architectural Livability*) del evento nacional *Solar Decathlon* celebrado en el *National Mall* en Washington D.C. y auspiciado por el Departamento de Energía de Estados Unidos y el *American Institute of Architects*. Esta importante victoria entre un total de 13 universidades finalistas es muestra de que el talento y conocimiento existe en Puerto Rico para desarrollar vivienda solar y sostenible capaz de mitigar el daño que las viviendas convencionales alimentadas con fuentes fósiles ocasionan.

En el 2013 se certificaron las primeras dos unidades de vivienda de interés social *Energy Star* por la compañía Verde Homes de Puerto Rico para el Departamento de la Vivienda del Municipio de San Juan y a través del Programa Home del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de Estados Unidos. Hasta el momento solo cuatro unidades de vivienda se han certificado en la isla bajo este programa. Se han hecho reformas recientes a los requisitos de este sistema de certificación para acomodarse mejor al contexto caribeño de nuestra isla. Se presume que este cambio ayudará a que diseñadores y constructores se interesen en certificar más unidades.

Desde el 2020 ha habido un crecimiento del 190 % en el total de viviendas certificadas de forma voluntaria para programas de energía cero y preparación para energía cero en los Estados Unidos y Canadá. Esto incluye un crecimiento del 440 % en viviendas unifa-

[148] Aquí destaca la labor de Aida Caraballo, la primera "*realtor* verde" del país.

miliares con más de 67,000 unidades certificadas en el 2022. En Puerto Rico no tenemos ninguna vivienda pública que cumpla con estos estándares.

Un reto primario que debe enfrentarse está ligado íntimamente al costo de las tecnologías y estrategias de sostenibilidad y resiliencia para las viviendas y la necesidad de que cumplan con los códigos vigentes y los que se proponen para el futuro. Los costos actuales de construcción sin incluir estas tecnologías son tan altos que imposibilitan que personas con escasos recursos puedan sufragarlos. Al añadir estas tecnologías de sostenibilidad y resiliencia, la vivienda se hace cada vez más difícil para muchos, en especial para el segmento de ingresos medianos y bajos. Pudiera argumentarse que los nuevos códigos son o pudieran ser inherentemente discriminatorios contra las clases socioeconómicas más vulnerables. Esto añade un reto adicional para buscar estrategias de financiación que puedan viabilizar el cumplimiento con los nuevos códigos de construcción verde y sistemas de certificación de estas viviendas que puedan valorar los ahorros en consumo y la resiliencia que ofrecen frente a eventos catastróficos ocasionados por el cambio climático.

A finales del 2020, se completó un proyecto demostrativo de vivienda sostenible, resiliente y asequible en las comunidades del Caño Martín Peña. El proyecto fue el resultado de un concurso de diseño patrocinado por el CIAPR, el CAAPPR, las comunidades del G8, el Fideicomiso de la Tierra del Caño Martín Peña y el Proyecto ENLACE. Se construyeron dos unidades a un costo aproximado de $95,000 cada una. Esto demuestra que la resiliencia y la sostenibilidad pueden ser viables económicamente bajo ciertos escenarios y circunstancias.

Durante los próximos diez años a partir del 2023, el crédito fiscal 45L proporcionará a los constructores $5,000 por cada vivienda unifamiliar y $1,000 por cada unidad multifamiliar certificada como *Zero Energy Ready Home*. Puerto Rico y los estados de California, Nueva Jersey, Nuevo México, Nueva York, Oregón y Washington están planificando o implantando actualmente códigos de energía cero o listos para energía cero.

Informes indican que Puerto Rico registró un aumento significativo en la instalación de sistemas fotovoltaicos. En una vista pública de la comisión de Energía de la Cámara de Representantes, portavoces de LUMA informaron que, desde el 2021 al presente, la cifra de clientes conectados al programa de medición neta aumentó de 25,000 a más de 56,000[149]. Esto representa aproximadamente un 5.6 % del total de viviendas en la isla.

Las temperaturas extremas registradas en Puerto Rico durante el 2023 y las temperaturas aún más altas que se pronostican para el futuro inmediato requieren la aclimatación de todas las residencias en Puerto Rico. Este es un asunto apremiante de salud pública.

Otro asunto importante es la dotación de placas solares y baterías a todas las viviendas unifamiliares, de manera que los residentes puedan mantener sus medicinas que necesitan refrigeración, como la insulina. Además, estas medidas permitirían la operación de ventiladores para personas que los necesitan para sobrevivir.

[149] Rivera Clemente, Y. 11 de mayo de 2023. Crece la conexión de clientes a sistemas de placas solares. *El Vocero.* https://www.elvocero.com/gobierno/legislatura/crece-la-conexi-n-de-clientes-a-sistemas-de-placas-solares/article_84e09a0e-ef45-11ed-a033-033a96f7638c.html.

En resumen, hemos progresado mucho en los pasados 30 años, pero aún falta mucho camino que entre todos haremos al caminar por la vía verde de la sostenibilidad. Los puertorriqueños tienen la esperanza de que la isla sea verde, no solo en sus campos y bosques, sino también en sus edificios y ciudades y en las conductas ambientales de todos para reducir las emisiones de $CO_2$ y lograr un Puerro Rico descarbonizado para el 2050. Esto aportará a la justicia climática de los más vulnerados.

## 4.3. Transportes y movilidad

El cambio climático que enfrenta el mundo desde las pasadas décadas representa un riesgo significativo y creciente para la seguridad, eficacia, equidad y sostenibilidad de la infraestructura de transporte y las comunidades a las que sirve. Las proyecciones de eventos naturales más frecuentes y severos –como fenómenos atmosféricos y tormentas tropicales– apuntan a la urgencia de atender esta amenaza crucial para el desarrollo económico y la cadena de suministros del país, sus municipios y comunidades.

Tal es la importancia de este asunto que la política pública del Departamento de Transporte de Estados Unidos (USDOT, por sus siglas en inglés) lidera actualmente los esfuerzos para prevenir o reducir el riesgo de que las manifestaciones del cambio climático afecten o paralicen las operaciones de los sistemas de transportación. Estamos ante una oportunidad única en una generación para hacerlo.

Datos del USDOT[150] especifican que el sector de la transportación genera un tercio de todas las emisiones de GEI en los Estados Unidos. Recordemos que, en el caso de Puerto Rico, el inventario de emisiones más reciente (2023) señala al sector de la transportación como el segundo emisor principal con el 26 % del total de emisiones al 2021, por vía de la combustión de gasolina de vehículos en las carreteras (ver la sección 3.3).

Los efectos del cambio climático inciden en la forma en que viajamos. Ejemplo de esto es el aumento de las turbulencias en los viajes aéreos[151]. Otro efecto es el daño directo e indirecto que los huracanes causan a la infraestructura. Aunque nos enfrentamos a grandes desafíos, a la misma vez podemos aprovechar las oportunidades de innovación y reingeniería para diseñar y construir una mejor infraestructura y un sistema de transportación resiliente y redundante que mitigue o elimine los efectos adversos del cambio climático.

La Ley 33-2019 –en el artículo 9, sección c– establece las guías que deben enmarcar las estrategias dirigidas al sector de la transportación y la movilidad en el P-MARCC. Esa sección hace énfasis solamente en el sector de transportación terrestre. Sin embargo, a partir del 2021, la política pública del gobierno de los Estados Unidos sobre el cambio climático se enmendó para atender y promover la transportación como un sistema nacional que abarca todas sus formas (modos): aérea, marítima y terrestre. La política pública federal dispone que las acciones para atender los efectos del cambio climático en el sector de la transportación y movilidad tengan un enfoque de intervención multimodal

150 U.S Department of Transportation. Climate Action.
151 The hidden danger of climate change on air travel: A more turbulent future (phys.org)

integrado[152]. Es crucial para Puerto Rico sincronizar su política pública y garantizar que cumpla con las políticas federales. Además, el gobierno puertorriqueño deberá analizar y recomendar acciones tomando en cuenta los otros modos de transportación que no están cobijados en la Ley 33-2019, como el aéreo y el marítimo.

Esa gestión cobra relevancia especialmente cuando varios de estos modos de transportación presentan exposición a diversas amenazas asociadas a las manifestaciones del cambio climático tales como inundaciones costeras y ocurrencia de huracanes, entre otras. Un análisis amplio promoverá que Puerto Rico tenga una infraestructura resiliente, acorde con las políticas públicas nacionales de Estados Unidos.

Otros factores necesarios en este enfoque multimodal son:

1. Considerar la transportación como una infraestructura importante para el desarrollo económico.
2. Reconocer que Puerto Rico es un conjunto de islas, por lo que su intercambio –tanto comercial como la movilidad de bienes y de personas con la región del Caribe y con el resto de los países del mundo– se da a través de sus puertos y aeropuertos. Ejemplo de esto es que el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín fue desde 1986 hasta el 2012 el centro de transbordo para el Caribe de la aerolínea American y su filial *American Eagle*.
3. Procurar que antes y después de un evento natural, la resiliencia y redundancia de estas instalaciones afecte mínimamente la cadena de suministros.

Esto es importante cuando las proyecciones del cambio climático anticipan la formación de fenómenos atmosféricos (como huracanes) con mayor intensidad y recurrencia.

Para atender las exigencias de la política pública federal y poder entender mejor las condiciones de los modos de transportación –marítima, aérea y terrestre–, Puerto Rico tendrá que enmendar la Ley 33-2019 y ampliar su política pública a tales fines.

### 4.3.1. Transportación marítima

A través de la historia hasta hoy, los puertos marítimos han tenido un papel esencial en el desarrollo económico. El modelo económico se impulsa por el intercambio comercial entre países y diferentes jurisdicciones de una misma nación. Según la Organización de las Naciones Unidas [ONU][153],

> "[…] Los puertos marítimos brindan acceso a los mercados globales y cadenas de suministros para todos los países, y son parte integral del transporte marítimo, así como de la pesca, el desarrollo de energía en alta mar y muchas actividades económicas en las zonas costeras. Con más del 80 % del volumen del comercio mundial transportado por mar, de puerto a puerto,

[152] *Climate Action Plan: Revitalizing Efforts to Bolster Adaptation & Increase Resilience* (2021).
[153] Asariotis, R. (2021). Climate change impacts on seaports: A growing threat to sustainable trade and development. Article No. 75 [UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N°90 - Second Quarter 2021].

son nodos de infraestructura cruciales que sustentan las cadenas de suministros mundiales y son clave para las perspectivas futuras de comercio y desarrollo".

Puerto Rico cuenta con 15 puertos marítimos públicos que están bajo la administración de la Autoridad de los Puertos (APPR). Trece de ellos son del interés del Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos (DHS, por las siglas en inglés) por la cadena de suministros. Todos se distribuyen a lo largo de la franja costera en San Juan, Arecibo, Aguadilla, Mayagüez, Guánica, Guayanilla, Peñuelas, Ponce, Aguirre, Guayama, Yabucoa, Ceiba y Fajardo (Ilustración 22). Además, las islas de Vieques y Culebra cuentan con sus propios puertos por donde se mueve la carga y pasajeros. De estos, el principal puerto es el de San Juan, por donde se mueve más del 95 % de la carga y el 99 % de los pasajeros que llegan en barcos cruceros.

El informe *Seaborne Supply Chains* –realizado por *RAND Corporation* en 2018 por encomienda del DHS– hace recomendaciones que el gobierno de Puerto Rico y el gobierno federal deberían seguir para aumentar la resiliencia económica, la cadena de suministros y la capacidad de organización del grupo local, entre otras acciones. Todo esto deberá estar dirigido a preparar los trece puertos marítimos de importancia para el DHS en Puerto Rico ante la eventualidad de otro fenómeno atmosférico.

**Ilustración 22.**

*Puertos marítimos públicos de Puerto Rico*




Fuente del Mapa: *Rand's Seaborne Supply Chain Report* (2018)

### *4.3.1.1. Impactos en transporte marítimo por eventos naturales identificados*

Por su ubicación en el litoral, los trece puertos de Puerto Rico son gravemente afectados con cierta frecuencia por el embate de tormentas tropicales o huracanes con sus marejadas ciclónicas, por oleajes fuertes, inundaciones costeras y, debido al cambio climático, por el aumento del nivel del mar. En pasados eventos naturales, las pérdidas económicas tanto de los daños directos a la infraestructura portuaria como de las interrupciones y retrasos en las operaciones –en especial en la cadena de suministros– han sido cuantiosas.

Además, estas instalaciones cuentan con una extensa red de carreteras para mover la carga entre los diferentes sectores económicos. Esto convierte la red vial en parte esencial de los análisis para mitigar los efectos del cambio climático en los puertos marítimos y para cumplir con el enfoque multimodal sugerido por el USDOT. Un ejemplo de ello fue el uso del Puerto de Ponce después del embate del huracán María, cuando dicho puerto jugó un papel protagónico en la distribución de suministros tanto para la región sur como para el resto de la isla principal. Cabe señalar que los puertos localizados en la costa este, sur y en Vieques y Culebra tienen una mayor probabilidad de recibir daños significativos por los impactos de los sistemas ciclónicos. La trayectoria de dichos fenómenos que vienen del este hacia el oeste o noroeste hace que esas regiones reciban el impacto directo con más frecuencia.

Hasta la fecha, no existe un enfoque único para la adaptación al cambio climático y la planificación de la resiliencia para la infraestructura de los puertos. No obstante, una de las alternativas para afrontar el alza del nivel del mar que analizan varias agencias federales (como la Guardia Costera, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) y la Administración Marítima) es la construcción de barreras marítimas duras tales como diques o rompeolas.

### 4.3.2. Transportación aérea

La aviación comercial ha sido uno de los modos de transportación predominantes durante los pasados 50 años, facilitando la conectividad entre ciudades y promoviendo la movilidad de bienes, productos y personas. Así se evidenció más durante el período de la pandemia de COVID-19, cuando el sector de la transportación aérea fue fundamental para distribuir las vacunas a todo el mundo.

No obstante, un informe del Instituto Brookings[154] en el 2023 indicó que si el nivel del mar continúa elevándose según las proyecciones, cerca del 20 % del total de pasajeros se afectará. Estas proyecciones pudieran tener lugar si no se toman las medidas de mitigación y adaptación necesarias para alargar la vida útil del aeropuerto, de acuerdo a las normas internacionales. Muchos de los principales aeropuertos de los Estados Unidos –incluyendo al principal aeropuerto de Puerto Rico– están localizados cerca del litoral, lo que hace a dicha infraestructura vulnerable al aumento del nivel del mar.

Los aeropuertos en el Caribe, en la costa este y el golfo de México de los Estados Unidos enfrentan el riesgo de interrupciones frecuentes en sus operaciones con el aumento pronosticado de la intensidad y frecuencia de eventos asociados al cambio climático. Incluso se exponen al cierre por días o semanas, similar a lo ocurrido en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de Estados Unidos después del paso de los huracanes del 2017.

La Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés) creó el documento *Plan de acción climática de la aviación 2021* (https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf), por directriz del secretario de Transportación y la política pública vigente para afrontar los retos de mitigar los posibles efectos

[154] Adie Tomer y Caroline George. (2023). *America's airports aren't ready for climate change. Brookings Institution*.

del cambio climático sobre la infraestructura aeroportuaria y sus potenciales repercusiones sobre la economía nacional. El propósito es alcanzar la meta de cero emisiones para el 2050. Este plan identifica acciones para disminuir las emisiones a través de:

- Desarrollo de nuevas tecnologías de aeronaves y motores más eficientes.
- Mejoras en las operaciones de las aeronaves en todo el Sistema Nacional del Espacio Aéreo.
- Producción y uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés).
- Electrificación y, potencialmente, uso de hidrógeno verde como soluciones para la aviación de corta distancia.
- Avances en las operaciones aeroportuarias en los Estados Unidos.
- Iniciativas internacionales como el estándar de CO2 de los aviones y el Plan de reducción y compensación de carbono para la aviación internacional.
- Apoyo a la investigación en la ciencia del clima.

El sistema de aeropuertos públicos de Puerto Rico (Ilustración 23) es uno de los ejes principales para la economía del país. En total son 10 aeropuertos públicos localizados en municipios costeros. Estos son los aeropuertos Luis Muñoz Marín (SJU); Comandante Fernando Luis Ribas Dominicci en Isla Grande, San Juan (SIG); Antonio (Nery) Juarbe Pol en Arecibo (ABO); Rafael Hernández en Aguadilla (BQN); Eugenio María de Hostos en Mayagüez (MAZ); Mercedita en Ponce (PSE); Dr. Hermenegildo Ortiz Quiñones en Humacao (X93); José Aponte de la Torre en Ceiba (RVR); Benjamín Rivera Noriega en Culebra (CPX); y Antonio Rivera Rodríguez en Vieques (VQS).

**Ilustración 23.**

*Aeropuertos públicos de Puerto Rico*




Mapa creado usando la aplicación *Great Circle Mapper*.

Solo cuatro de estas instalaciones (SJU, BQN, PSE y RVR) cuentan con pistas de aterrizaje de más de 6,000 pies de largo, que permiten manejar las operaciones de casi

cualquier modelo de avión. Esas condiciones son esenciales para las operaciones de respuesta a un desastre natural pues permiten la llegada de un mayor volumen de suministros. Los seis aeropuertos restantes tienen pistas de 5,000 pies o menos, utilizadas para vuelos recreacionales o comerciales de corto alcance.

Todos los aeropuertos públicos de Puerto Rico son parte del Plan Nacional de Sistemas Aeroportuarios Integrados de la FAA, el cual tiene como objetivo el desarrollo de la infraestructura e instalaciones aeroportuarias a través de sus diferentes programas para asignar los fondos y recursos necesarios.

El Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín, en Carolina, tiene una función protagónica en la conectividad de Puerto Rico y el Caribe oriental con el mundo, pues mueve a través de sus instalaciones a millones de pasajeros y libras de carga aérea, desde su inauguración en 1955. Según la *Airports Council International* (ACI) en su informe 2019 de clasificación y rango por movimiento de pasajeros, carga y operaciones de los aeropuertos mundiales, el SJU es el aeropuerto de mayor rango en las tres categorías de la región del Caribe. Datos de la FAA[155] indican que, en el movimiento de abordaje de pasajeros y carga aérea para el 2021, el SJU ocupó a nivel nacional las posiciones 38 y 24, respectivamente. Otros puntos de importancia son los aeropuertos Rafael Hernández en Aguadilla y el Mercedita en Ponce.

#### *4.3.2.1. Impactos en el transporte aéreo por eventos naturales identificados*

Los eventos atmosféricos como los sistemas ciclónicos, lluvias y vientos fuertes afectan con frecuencia las operaciones aéreas en Puerto Rico. Por esto, es necesario propiciar la mitigación, resiliencia y redundancia de la infraestructura aeroportuaria para minimizar los impactos en la cadena de suministros y la movilidad de las personas. Para alcanzar dicho objetivo, se realizó un análisis de los posibles efectos en cada aeropuerto de Puerto Rico. El análisis identificó que dos de estas instalaciones están sujetas a un mayor impacto debido a las manifestaciones del cambio climático. Estas son:

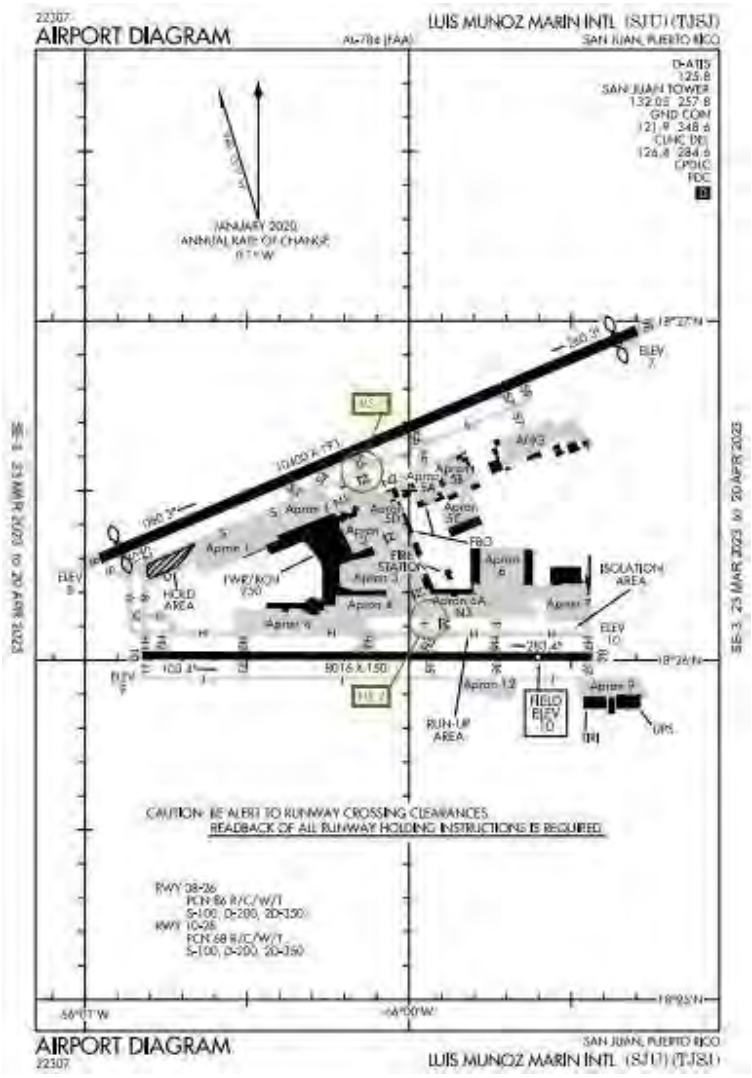
- Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín

    1. El principal aeropuerto de Puerto Rico cuenta con dos pistas de aterrizaje. La altura oficial del SJU es de 9.6 pies sobre el nivel del mar, según el portal de datos e información de aeropuertos de la FAA[156]. Dicho punto se encuentra en la pista de aterrizaje 10-28, la cual está alineada y paralela al expreso Román Baldorioty de Castro. Sin embargo, la pista principal 08-26[157] en su tramo final hacia la laguna Torrecillas está a un nivel de 7 pies sobre el nivel del mar (Ilustración 24).

[155] Passenger Boarding (Enplanement) and All-Cargo Data for U.S. Airports. FAA.
[156] Accese el portal en: https://adip.faa.gov/agis/public/#/airportData/SJU
[157] En términos operacionales para la torre de control de la FAA, la pista 08-26 es la pista principal del aeropuerto. Operacionalmente, la pista 08-26 se designa como principal ya que es la más larga de ambas (aproximadamente 10,000 pies de largo) y puede acomodar cualquier modelo de avión sin restricciones. También se le designa como la pista principal porque fue la primera en construirse en la década de 1950. La pista 10-28 fue construida en la década de 1970.

**Ilustración 24.**

*Diagrama del Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín*




Fuente: FAA

2. Ante las proyecciones sobre el alza en el nivel del mar, podría haber algún efecto sobre la infraestructura del SJU. Usando la herramienta *Sea Level Rise Viewer*[158] de la NOAA y en un escenario donde el nivel del mar subiera 5 pies para el 2050, la pista principal 08-26 y algunas antepistas de rodaje podrían quedar inoperantes en su extremo este (Ilustración 25). De darse este escenario, tendría grandes repercusiones en las operaciones del SJU, lo que podría significar una merma en las operaciones aéreas y en el movimiento de pasajeros y carga, con consecuencias en

158 Accese la herramienta en: https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/slr.html.

la economía general de Puerto Rico, particularmente en la región de San Juan, tomando en cuenta la política pública de desarrollar los aeropuertos regionales. El nivel de impacto dependerá de cómo se afecte la pista 08-26. Entre las posibles consecuencias podrían estar el cierre total de la pista o solo el uso parcial en el tramo no afectado, lo que restringiría el uso solo para aviones de menor capacidad. De cerrarse la pista 08-26, esto implicaría que el SJU podría perder hasta un 50 % de su capacidad operacional de despegues y aterrizajes. Además, supondría restricciones a las operaciones de aviones de mayor capacidad como los 747, 777, MD11, A330, entre otros, que no podrían operar a toda capacidad, posiblemente a una capacidad de carga de 75 % o menos, ya que solo quedaría en operaciones la pista 10-28, pero esta tiene solo 8,000 pies de largo.

**Ilustración 25.**

*Mapa de alza de 5 pies del nivel del mar y posibles efectos sobre el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín para el 2050*




Mapa creado usando NOAA Sea Level Rise Viewer.

3. El SJU puede afectarse también por amenazas no relacionadas con el cambio climático como son los tsunamis, debido a su altura sobre el nivel del mar.

- Aeropuerto Internacional Mercedita (PSE) en Ponce

1. Este aeropuerto se encuentra a 28.4 pies sobre el nivel del mar y aproximadamente a 2.18 millas de la línea de costa, de acuerdo con los datos de la FAA. Por esta razón, este aeropuerto no se encuentra dentro de la zona propensa a inundación costera, alcance del aumento del nivel del mar o tsunami.

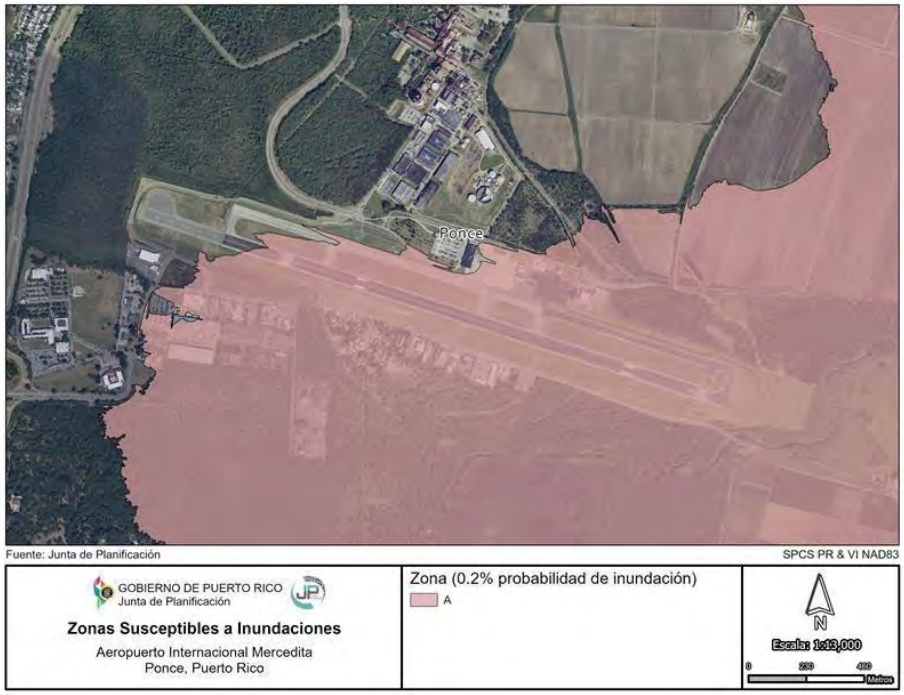
2. Sin embargo, este aeropuerto tiene un problema de inundaciones, en especial cuando ocurren lluvias torrenciales. Cuando estos eventos ocurren,

como sucedió durante el huracán María, el aeropuerto tiene que cancelar sus operaciones y cerrar. Esto se debe a que los últimos 2,000 pies hacia el este de la pista 12-30 quedan en la zona inundable de cauce mayor del río Inabón (Ilustración 26), según el *National Flood Hazard Layer Viewer* de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por siglas en inglés). Si esto no se corrige, habría el riesgo de que esta instalación aérea quede inoperante por los eventos extremos de lluvia más frecuentes e intensos que se anticipan por el cambio climático.

3. A mayo del 2023, la APPR mantenía conversaciones con el USACE sobre esta situación y se encontraba identificando las posibles fuentes de financiamiento para que USACE realice un estudio de escorrentías y de inundación con el propósito de que eventualmente se lleven a cabo los proyectos necesarios para el control de inundaciones en el PSE.

**Ilustración 26.**

*Zonas inundables en el Aeropuerto Internacional Mercedita en Ponce*




Fuente: Mapa Puerto Rico interactivo. Junta de Planificación de Puerto Rico

El resto de los aeropuertos mencionados están fuera de zonas de tsunami, inundaciones costeras, o de inundaciones de cauce mayor. De todos estos aeropuertos, el BQN en Aguadilla es el más protegido, ya que no existen ríos en su cercanía y el mismo se encuentra a 237 pies sobre el nivel del mar. Esto lo pone fuera de la posibilidad de ser afectado por un tsunami.

### 4.3.3. Transportación colectiva

La transportación colectiva es parte esencial del sistema de transportación de una ciudad o región. Dicho sistema es clave para mover personas de un punto A hacia punto B. Uno de los objetivos de estos sistemas es satisfacer la demanda de viajes sobre todo del sector de la población más desventajado que no puede costear la compra u operación diaria de un automóvil. Esta visión ha ido cambiando por los pasados años cuando dicho sistema ha cobrado notoriedad como pieza clave para mitigar las emisiones que aceleran el cambio climático. El poder ofrecer y satisfacer las demandas de viaje de los usuarios convierte a la transportación colectiva en un sistema aventajado en comparación con el uso del automóvil. Entre las ventajas están:

1. Es más eficiente en la movilización de personas que el automóvil. Un autobús puede mover a 45 personas, mientras que un automóvil puede mover a cinco personas[159]. La capacidad de mover a más personas reduce el uso del automóvil y, con ello, bajan las emisiones de GEI.

2. Por lo anterior, los autobuses son más amigables al ambiente que los automóviles. Hoy en día, hay una transición hacia autobuses híbridos y/o eléctricos. Estas acciones disminuyen aún más las emisiones de la transportación colectiva.

3. Los costos operacionales de la transportación colectiva son una quinta parte del costo de operar un vehículo privado.

4. La transportación colectiva necesita menos espacio geográfico para operar que los automóviles. Un autobús necesita solo un carril para operar; un tren, rieles. Estas infraestructuras ocupan menos espacio que la requerida por los automóviles, los cuales necesitan una red de carreteras de dos o más carriles para mover la gran cantidad de vehículos.

La Ley 33-2019 reconoce la importancia de los sistemas de transportación colectiva como parte de las estrategias para lidiar con el cambio climático. Establece en su artículo 9, sección c (1 y 2), que las estrategias se enmarquen en fomentar el uso del transporte público, entre otras guías. La encomienda está alineada con la política pública de la administración Biden que espera que para el 2030 este sector reduzca en un 50-52 % los niveles de emisiones del 2005. La Administración Federal de Transporte (FTA, por las siglas en inglés) lanzó el programa Desafío de Transportación Colectiva Sostenible[160] para un Planeta Saludable, en junio de 2021, para cumplir con las metas federales. La iniciativa busca alentar a las agencias de tránsito a tomar medidas audaces para reducir aún más las emisiones del transporte público.

En Puerto Rico, solo los municipios de Yabucoa y Vega Baja, y la Autoridad de Transporte Integrado (ATI) son partícipes de dicho programa[161]. Además, la FTA creó otros progra-

159 UCLA's Institute of Transportation Studies. *Best Practices in Implementing Tactical Transit Lanes*.
160 Sustainable Transit for a Healthy Planet Challenge | FTA (dot.gov).
161 Véase: Challenge Participants | FTA (dot.gov)

mas, bajo la Ley Bipartita de Infraestructura de 2021[162], para fomentar el desarrollo de la transportación colectiva. Algunos de estos programas son:

1. Programa de accesibilidad de todas las estaciones.
2. Programa para autobuses y sus instalaciones.
3. Programa para inversiones de capital.
4. Programa piloto de ferri eléctrico o de baja emisión.

La Ley de Infraestructura 2021 autoriza hasta $108,000 millones para apoyar las iniciativas de los programas de transportación pública[163] para un período de 5 años. De esos fondos, hay $5.6 mil millones para la compra de autobuses de baja o ninguna emisión y para la construcción de instalaciones de combustible y mantenimiento. También se asignan $250 millones para la transición a ferris de baja o ninguna emisión.

Puerto Rico cuenta con cuatro componentes principales en su sistema de transportación colectiva para poder beneficiarse de estos programas federales. Estos son:

1. Autoridad Metropolitana de Autobuses (AMA)

   La AMA opera una red de rutas a través de la región metropolitana de San Juan. Esta incluye los municipios de San Juan, Trujillo Alto, Carolina, Loíza, Bayamón y Toa Baja (Ilustración 27). Cuenta con 24 rutas que operan de lunes a sábado. No operan los domingos. La AMA tiene una flota de 101 autobuses[164].

**Ilustración 27.**

*Mapa de rutas de la AMA*




[162] Véase: FTA Program Fact Sheets under the Bipartisan Infrastructure Law | FTA (dot.gov)
[163] Véase: Bipartisan Infrastructure Law | FTA (dot.gov)
[164] Véase: AMA (pr.gov)

Aunque la AMA cubre una gran extensión geográfica, cabe señalar unas deficiencias en sus operaciones actuales que tienen que corregirse para proveer un servicio eficiente y una alternativa a la necesidad de viajes de los ciudadanos. Estas son:

a) Reducción de rutas y servicios.

   En el 2014, la AMA anunció[165] la reducción de 37 a 14 rutas y la eliminación del servicio los domingos, debido a problemas financieros y la incapacidad de poner en operación una gran cantidad de sus autobuses.

b) Inconsistencia en la puntualidad de los autobuses.

   Históricamente, la AMA ha tenido problemas en cumplir con el itinerario de sus rutas. Esto hace al sistema ineficiente y fomenta la pérdida de usuarios.

Más allá de estas deficiencias, la AMA se ha movido en la dirección correcta en lo referente al cambio climático. En febrero del 2023, la AMA anunció a través de su página electrónica la compra de 12 autobuses de 40 pies de largo como parte del programa de reemplazo de flota, utilizando los fondos disponibles de la Ley de Infraestructura del 2021. Los nuevos autobuses son más eficientes y producen menos emisiones.

2. Tren Urbano

El Tren Urbano (TU) cubre una ruta que va desde Bayamón hasta la estación de Sagrado Corazón en Santurce (Ilustración 28). Cuenta con 16 estaciones a lo largo de su ruta.

**Ilustración 28.**

*Mapa alineación del tren urbano*




En sus años de operación, el TU ha tenido muchos problemas en atraer usuarios. Entre estos problemas están:

[165] Del Valle Hernández, S. (5 de agosto de 2014). La AMA reestructurará sus rutas de servicio. *Primera Hora.*

a) La falta de coordinación con otros modos de transporte como la AMA y los porteadores públicos ha hecho ineficiente la operación del TU.
b) La falta del desarrollo de sus alrededores a través del concepto de Desarrollo orientado al transporte (TOD).

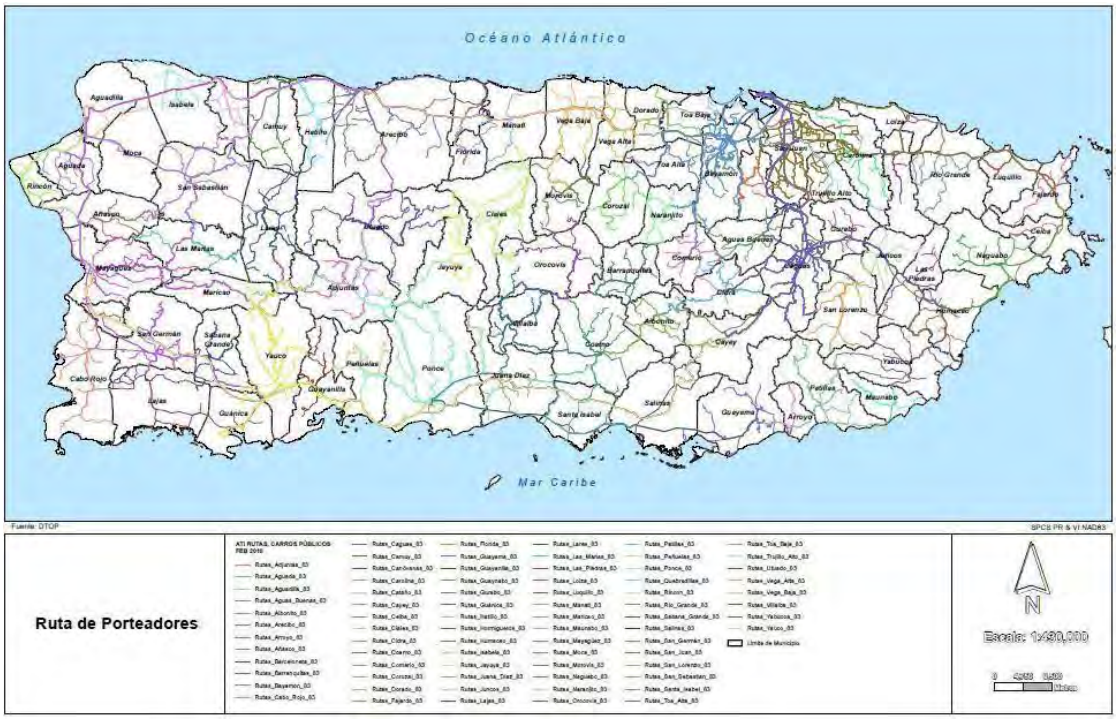
Otro problema que tiene el TU es que consume mucha energía. Una manera de disminuir ese consumo energético sería colocar placas solares en el techo de sus estaciones.

3. Porteadores públicos

Los porteadores públicos ofrecen sus servicios de mover personas en todo Puerto Rico. Son prácticamente el único servicio de transportación colectiva en la mayoría de los municipios fuera de la región metropolitana de San Juan. Según el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico, hay registradas 386 rutas de porteadores públicos[166]. De estas, para el 2010, la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) tenía registradas como activas solo 76 rutas (Ilustración 29). Esto equivale a un 19.7 % de todas las rutas registradas. Reactivar a los porteadores públicos a través de nuevas rutas que estén alineadas con las nuevas tendencias poblacionales y de viaje será importante como estrategia para ayudar a disminuir las emisiones de GEI.

**Ilustración 29.**

*Mapa de rutas de porteadores públicos 2010*




Fuente: DTOP

[166] Véase: Mapa de rutas de porteadores públicos - Conjuntos de datos - Datos.PR (estadisticas.pr)

4. Ferris

Los ferris son parte esencial de la transportación colectiva. Puerto Rico tiene tres rutas de ferris: Cataño-San Juan, Ceiba-Vieques y Ceiba-Culebra (Ilustración 30).

**Ilustración 30.**

*Rutas de ferris en Puerto Rico*




Fuente de Mapas: *Puerto Rico Ferries*[167]

El servicio del ferri es la forma económica de movilidad de Vieques y Culebra con la isla grande. Es de esperar que las nuevas tecnologías en embarcaciones más eficientes y con menos emisiones hará más rentables esos servicios.

### 4.3.4. Vehículos eléctricos

Una de las tendencias más marcadas como parte de la iniciativa para reducir o eliminar las emisiones ha sido promover el uso de los vehículos eléctricos. Todas las grandes manufactureras de automóviles del mundo están desarrollando sus propias líneas de ese tipo de vehículo. El gobierno federal a través del Servicio de Rentas Internas (IRS) y la sección de su código 30D[168] ofrece un crédito de hasta $7,500 para promover la compra de estos autos. En Puerto Rico, la Ley para el Fomento de los Vehículos Impulsados Mayormente por Electricidad (Ley 81-2014)[169] establece un crédito de hasta $2,000 en los arbitrios para estos vehículos. Informes anticipan que para el 2040, un 75 % o ¾ de los carros nuevos vendidos a nivel mundial serán eléctricos[170]. Los países desarrollados como China, EE. UU. y Europa serán los principales mercados para estos vehículos. Puerto Rico debe atemperarse a estas nuevas tendencias.

Además de los incentivos, Puerto Rico debe superar los problemas de infraestructura para hacer viables la compra y uso de estos vehículos. Estos son:

167 Véase: Routes and schedules - Puerto Rico Ferry anchored by Hornblower.
168 Véase: Credits for New Clean Vehicles Purchased in 2023 or After | Internal Revenue Service (irs.gov)
169 Véase la Ley 81-2014.
170 *The future lies with electric vehicles*. *The Economist*.

1. Falta de infraestructura para recargar los vehículos eléctricos.

   Actualmente existen muy pocas localidades para la recarga. Uno de los pocos lugares que cuenta con dichas instalaciones es San Patricio Plaza. Dichas áreas cuentan con solo cuatro estaciones de recarga.

   Aunque hay pocas estaciones de carga, otras empresas del sector privado han anunciado su intención de construir áreas de recarga para vehículos eléctricos para el 2030.

   Para que un plan de desarrollo de estaciones de recarga en todos los municipios sea viable, es necesario que los vehículos eléctricos sean rentables.

2. Costos energéticos.

   Este renglón será clave para que la población opte por comprar vehículos eléctricos. Los altos costos energéticos de Puerto Rico harían poco viable que sectores poblacionales con ingresos medianos o bajos los adquieran.

3. La falta de mano de obra diestra.

   Una de las preocupaciones es los pocos talleres de mantenimiento y mecánicos diestros en el manejo y reparación de dichos vehículos eléctricos. Se debería crear un programa de desarrollo de fuerza laboral enfocado en adiestrar a los mecánicos y técnicos necesarios para el mantenimiento de estos vehículos.

   Atender prontamente estas deficiencias en la infraestructura y áreas de mantenimiento y servicios para los vehículos eléctricos será importante para la viabilidad, rentabilidad y usos de estos autos.

### 4.3.5. Sistema de carreteras

Como mencionamos en la sección 4.2, Puerto Rico cuenta con un complejo sistema de carreteras que brinda conectividad a prácticamente todos los municipios. El sistema vial comprende aproximadamente 14,400 kilómetros de carreteras (Ilustración 28), según el documento *Guías para la selección e instalación de rótulos de orientación*,[171] publicado en el 2015 por la ACT. Este extenso sistema ha promovido que el automóvil sea el método de transportación más usado por los ciudadanos.

[171] Véase: https://act.dtop.pr.gov/fotos/transito/mutcd2009.pdf.

**Ilustración 31.**

*Mapa de las carreteras principales de Puerto Rico*




Fuente del Mapa: *Discover Puerto Rico*

La mediana de transportación hacia el trabajo en Puerto Rico fue de 27.1 minutos, según la Encuesta de la Comunidad 2021 producida por la Oficina del Censo. La cifra contrasta con la mediana de los Estados Unidos de 25.6 minutos para el mismo período, una diferencia de 1.5 minutos, lo que podría significar que en Puerto Rico se emite en promedio 1.5 minutos más de GEI.

Otro factor que se debe entender del sistema de carreteras de Puerto Rico es que, debido a su gran accesibilidad, muchas de estas carreteras están construidas en áreas clasificadas como de riesgos a través de las montañas, a lo largo de los valles inundables y la costa, lo que las hace vulnerables a eventos atmosféricos o geológicos. Ejemplo de una de estas carreteras es la PR-167 de Naranjito a Comerío. Esta carretera es susceptible a derrumbes cuando ocurren eventos de lluvias fuertes, lo que deja intransitable la principal vía de acceso que utilizan los ciudadanos de Comerío. Asimismo, durante el embate de los huracanes Irma y María, carreteras como la PR-187 en Piñones, Loíza, y la PR-3 entre los municipios de Maunabo y Patillas fueron severamente afectadas por la marejada ciclónica y las grandes acumulaciones de arena en sus carriles. La situación provocó el cierre de dichas vías, lo que dejó incomunicadas a las comunidades. Cabe señalar que el Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico (CoRePI-PR) ha identificado secciones de carreteras en la zona costanera que están expuestas y tienen alta probabilidad de ser afectadas por inundaciones costeras.

Los esfuerzos de mitigación y resiliencia del sistema de carreteras se hacen imperativos, sobre todo, en aquellas identificadas como de alto riesgo a los eventos asociados con el cambio climático.

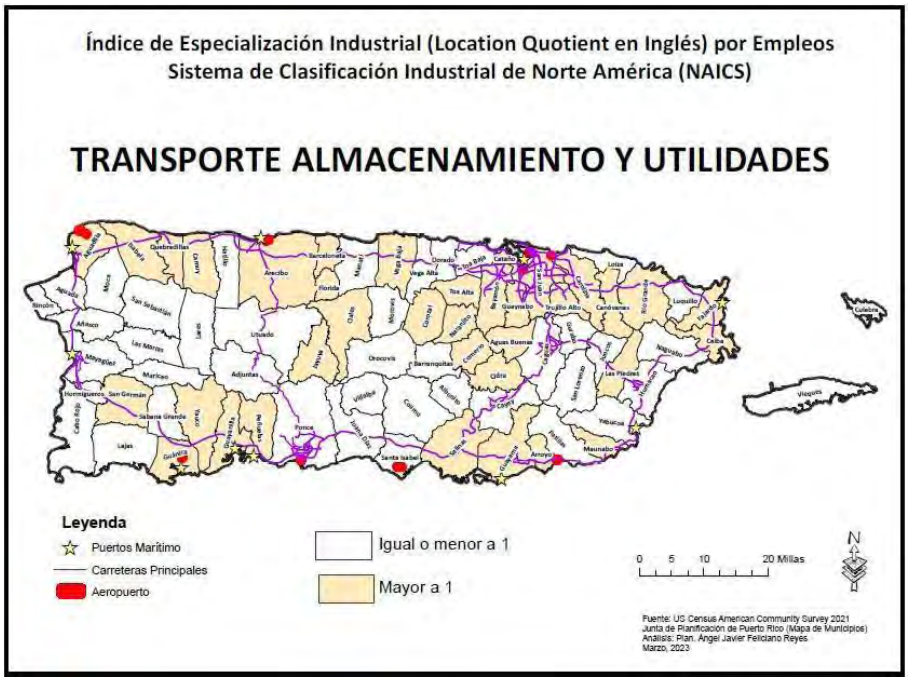
### 4.3.6. **Municipios con alta actividad económica que requieren mayor infraestructura de transportación**

Como toda actividad económica, los proveedores de los diferentes sectores del transporte suelen localizarse en lugares accesibles a la infraestructura principal de transportación, a centros comerciales e industriales y lugares de alta concentración poblacional. Conocer si existe una concentración espacial de este sector es vital para localizar y entender si dichos centros de aglomeración están en áreas de riesgos y para la priorización de los cursos de acción.

Para poder identificar si existe ese patrón espacial, se calculó el índice de especialización industrial, –o *location quotient* (LQ) como comúnmente se le conoce en inglés– para medir si existe concentración laboral en un sector en específico en Puerto Rico. El índice es muy utilizado por agencias federales como el Departamento del Trabajo y el Departamento de Comercio. Se utilizaron los datos basados en el Sistema de Clasificación Industrial de Norte América para el sector laboral de transportación, y almacenes y utilidades de la Encuesta de la Comunidad del Censo para el 2021. Aquellos municipios con un índice de especialización mayor de 1 son los que tienen concentración y dominan ese mercado laboral. Entre los municipios que presentan un índice de especialización mayor de 1 están: San Juan, Carolina, Río Grande, Fajardo, Ceiba, Maunabo, Arroyo, Guayama, Salinas, Guayanilla, Guánica, Aguadilla, Isabela, Quebradillas, Arecibo, Vega Baja, Cataño, Naranjito, Guaynabo, Aguas Buenas, Corozal, Cidra y Las Piedras, entre otros (Ilustración 32).

**Ilustración 32.**

*Índice de especialización industrial por empleos, según el sistema de clasificación industrial de Norte América*




Fuente de los datos: *US Census*

Basado en los resultados, se puede observar una concentración dentro de la región metropolitana de San Juan para este sector. Uno de los factores que pueden a contribuir a esta concentración espacial es la cercanía a las principales instalaciones de transportación que son el puerto de San Juan y el aeropuerto internacional por donde transita más del 90 % de la carga y pasajeros que entran y salen de Puerto Rico. Otros factores son los parques industriales a lo largo de las carreteras PR-22 y PR-3, un único sistema de transportación colectiva como la AMA, el TU y los porteadores públicos. Esto hace de esta región la más activa económicamente y la más accesible por los diferentes modos de transportación que operan en sus límites geográficos.

Otro de los centros de aglomeración que se puede apreciar es el de Fajardo-Ceiba, lo que se justifica con la operación en Ceiba del ferri que da servicios de pasajeros y carga hacia las islas municipios de Vieques y Culebra y hacia las Islas Vírgenes de Estados Unidos. En Fajardo se localizan los grandes hospitales, centros comerciales y oficinas profesionales de la región este.

Este análisis es importante para implantar los cursos de acción de este Plan, ya que ayudaría a priorizarlos. También ayudaría a fomentar y ampliar los otros centros de concentración fuera de San Juan, como parte de una estrategia de resiliencia y redundancia ante futuros eventos catastróficos que serán más frecuentes debido al cambio climático.

## 4.4. Residuos sólidos

### 4.4.1. Efecto de los residuos sólidos en el cambio climático en Puerto Rico

Los seres humanos usan productos, servicios y materiales en sus vidas diarias y estos generan desperdicios y residuos[172]. Cada producto, servicio o material se provee mediante una secuencia de eventos, pasos o ciclo de vida (también denominado *cradle to grave* o de la cuna a la tumba), según se muestra en la Ilustración 33:

a. extracción de materiales de la corteza terrestre

b. refinamiento/procesamiento de materia prima a materiales útiles

c. preparación/manufactura de productos y materiales

d. empaque/distribución/venta

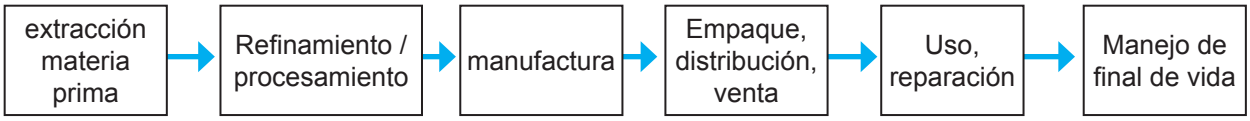
e. uso/reparación

f. manejo de fin de vida –reutilización, reciclaje, incineración o disposición/desecho

[172] El término residuo implica que el material tiene uso aún; desperdicio tiene la connotación de que ya el material no tiene utilidad.

**Ilustración 33.**

*Ciclo de vida de un producto*




Claramente, la última etapa o fin de vida del producto genera unas consecuencias adversas en términos de desperdicios y su impacto. Pero, además de la etapa de fin de vida, todas las demás etapas consumen materiales y energía (que puede generar GEI), generan desperdicios y emisiones. También hay que tomar en cuenta que entre las etapas hay procesos de transportación que consumen mucha energía (y pueden producir emisiones de GEI).

El punto importante aquí es que no solamente se deben considerar las consecuencias e impactos en el cambio climático causados por las actividades en la etapa de manejo de fin de vida (reciclar, incinerar, enterrar en rellenos sanitarios). Igualmente, se debe considerar el efecto en el cambio climático causado por todas las etapas del ciclo de vida de los productos (extracción de material, procesamiento, transporte de material, manufactura, distribución y uso) para así tomar acciones que tengan un efecto significativo en el cambio climático[173]. Por ejemplo, un producto que se exporta del puerto de Shanghái, China, a San Juan recorre una distancia de cerca de 22,200 millas en barco hasta Long Beach, California, 2,400 millas adicionales para llevarlo en camión al puerto de Jacksonville, Florida, y finalmente 1,400 millas en barco para llegar a San Juan –todo ese recorrido usando combustibles fósiles. Estos viajes generan una gran cantidad de GEI (se indica que la flota nacional de algunos países industrializados genera más contaminantes que todos los vehículos del país[174]). Si se envía en avión, las emisiones son mayores. Para tener una idea del impacto de materiales en el cambio climático, los plásticos tienen una huella de carbono significativa, contribuyendo con el 3.4 % de las emisiones globales de GEI a lo largo de su ciclo de vida. En el 2019, los plásticos generaron 1,800 millones de toneladas de emisiones, con el 90 % de esas emisiones de su producción y conversión de combustibles fósiles[175].

En el caso de Puerto Rico, nuestros productos se pueden fabricar locamente y distribuirse por transportación terrestre o fabricarse fuera de Puerto Rico e importarse por avión o barco. Luego de usarse, estos productos se descartan y entran al proceso de manejo de desperdicios/residuos sólidos (o fin de vida). En Puerto Rico, para este proceso de manejo de desperdicios/residuos sólidos se usan distintas estrategias u alternativas: reciclaje, composta (lo cual se usa para material orgánico –vegetativo y comida), manejo especial (gomas, aceite y baterías, entre otros) y el depositar en un relleno sanitario. Se han pre-

[173] Véase en el portal de EPA: https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#%3A~%3Atext%3DTransportation%20(28%25%20

[174] McCarthy, N. (19 de diciembre de 2019). How Maritime Emissions Compare to Cars in Europe. Statista.

[175] Global Plastic Outlook Calls for More Circularity, National Roadmaps. *SDG Knowledge Hub*.

sentado propuestas y diseños para incluir la conversión de residuos a energía (llamado en inglés *waste to energy facilities*). Ninguna de estas propuestas ha prosperado.

Una ventaja de la composta, el reúso y el reciclaje es que se generan materiales utilizables para la producción local y esto reduce significativamente las distancias de transportación de materiales (lo cual reduce la generación de GEI). Las instalaciones para convertir residuos a energía producen electricidad, aunque hay preocupaciones por los efectos sobre la salud de comunidades cercanas por los gases producidos durante el proceso de combustión de materiales.

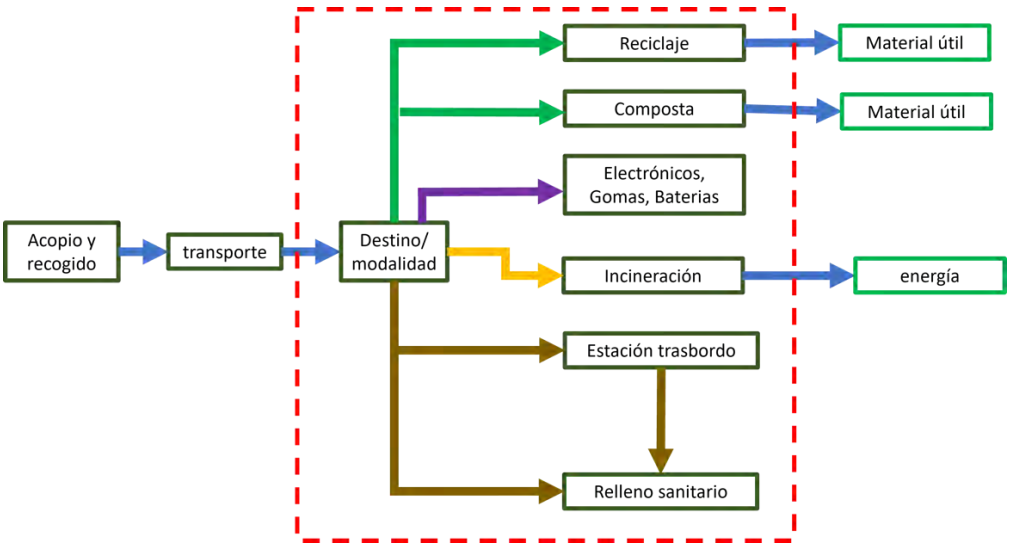
**Ilustración 34.**

*Distribución, uso y fin de vida de un producto en Puerto Rico*




**Ilustración 35.**

*Manejo de fin de vida de un producto en Puerto Rico*



### 4.4.2. Estado presente del manejo de desperdicios/residuos sólidos en Puerto Rico

En esta sección evaluaremos la estrategia de manejo de desperdicios/residuos sólidos en Puerto Rico usando la información disponible. Es importante que antes de diseñar un Plan de Manejo de Residuos se tengan datos certeros de asuntos tales como cuánto material descartado se genera, qué tipo de materiales se descartan, dónde se descartan estos materiales, cuánto material descartado se puede reciclar y cuánto material se está reciclando realmente.

#### *4.4.2.1. Estudio de caracterización de los desperdicios sólidos en Puerto Rico 2003*

En el 2003, la Autoridad de Desperdicios Sólidos contrató a la compañía de Wehran Puerto Rico para realizar un estudio de caracterización de los residuos generados en Puerto Rico[176]. Para el mismo se utilizaron datos de 32 rellenos sanitarios y dos estaciones de transbordo. A finales del 2003 también se generó un Plan Estratégico de Manejo de Residuos Sólidos. Los datos del estudio de Wehran 2003 se pueden resumir en las tablas 6, 7 y 8 y las ilustraciones 36 y 37. De estos datos se pueden hacer las siguientes observaciones:

1. Se determinó que cada persona en Puerto Rico generaba 5.18 libras de desecho diarios (en contraste con las 3.19 libras por persona del promedio de Estados Unidos para el 2003[177]). Ahora hay que evaluar si este promedio por persona incluye los desperdicios industriales y comerciales que terminan en los rellenos sanitarios. Esta distinción se debe hacer en un próximo estudio.

2. El estudio se enfoca en los materiales descartados. No se incluyen datos de materiales recuperados ni de material que se haya compostado ni de qué compañías y organizaciones estaban reciclando qué materiales al momento del estudio.

3. No hay datos de equipos electrónicos. En el 2003 no existían muchos de los dispositivos electrónicos que conocemos al presente como los teléfonos inteligentes, tabletas o los relojes inteligentes que son productos que no duran mucho y generan muchos desperdicios. Otro tipo de equipo eléctrico que no abundaba eran las placas solares y las baterías que se usan para almacenar la energía.

[176] Wehran Puerto Rico Inc. (24 de octubre de 2003). *Final Report Waste Characterization Study*. https://estadisticas.pr/files/BibliotecaVirtual/estadisticas/biblioteca/ADS_Waste_Characterization_Study_2003.pdf.

[177] EPA. (2003). Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2003.

**Tabla 6.**

*Datos de desperdicios 2003*

| Categoría | Toneladas semanales | porcentaje |
|---|---|---|
| Desperdicios sólidos municipales | 49,463 | 71.50 % |
| Construcción y demolición | 12,943 | 18.70 % |
| Jardinería/vegetativos | 2,733 | 3.90 % |
| Desperdicios especiales | 3,636 | 5.30 % |
| Automóviles | 436 | 0.60 % |
| Total | 69,211 | 100 % |

**Ilustración 36.**

*Desperdicios en Puerto Rico 2003*

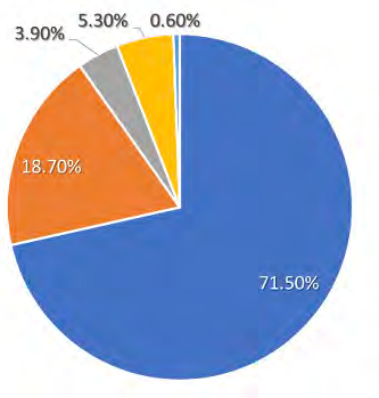



**Tabla 7.**

*Generación diaria de desperdicios en Puerto Rico 2003*

| Total de toneladas 2003 | 3,598,972 |
|---|---|
| Promedio diario en toneladas | 9,860.20 |
| Promedio diario en libras | 19,720,394.52 |
| Población de Puerto Rico 2003 | 3,808,610 |
| Libras de desperdicio per cápita | 5.18 |

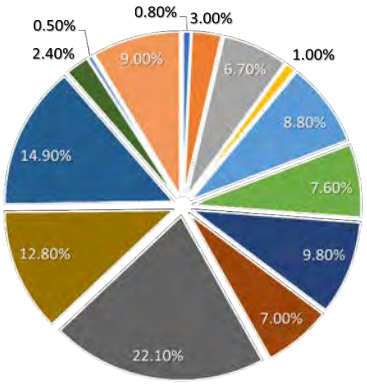
**Tabla 8.**

*Tipos de materiales descartados*

| Materiales descartados | |
|---|---|
| Plástico 1 – PET | 0.80 % |
| Plástico 2 - HDPE | 3.00 % |
| Plásticos 3 – 7 (PVC, LDPE, PP,PS) | 6.70 % |
| Papel alta calidad | 1.00 % |
| Papel baja calidad | 8.80 % |
| Cartón | 7.60 % |
| Metales ferrosos | 9.80 % |
| Metales no ferrosos | 7.00 % |
| Desperdicios jardinería | 22.10 % |
| Desperdicios orgánicos | 12.80 % |
| Construcción y demolición | 14.90 % |
| Vidrio | 2.40 % |
| Desperdicios peligrosos | 0.50 % |
| Otros | 9.00 % |

**Ilustración 37.**

*Materiales descartados en Puerto Rico 2003*




Inventario de materiales 2003

### *4.4.2.2. Situación del sistema de desperdicios sólidos en Puerto Rico 2022*

La situación de los rellenos sanitarios en Puerto Rico en el 2022 se resume en la Tabla 9 según datos provistos por el DRNA.

**Tabla 9.**

*Capacidad y vida útil para disposición de desperdicios/residuos sólidos en Puerto Rico*

| Instalación | Toneladas/día | Años de vida útil |
|---|---|---|
| Añasco | 16 | 10 |
| Arecibo | 1,100 | 5 |
| Arroyo | 32 | 5 |
| Barranquitas | 66 | 5 |
| Carolina | 180 | 14 |
| Cayey | 28 | 0 |
| Culebra | 10 | 8 |
| Fajardo | 600 | 20 |
| Florida | 24 | 0 |
| Guayama | 11 | 4 |
| Hormigueros | 11 | 5 |
| Humacao | 2900 | 50 |
| Jayuya | 11 | 3 |
| Juana Díaz | 435 | Con 4 celdas nuevas |
| Juncos | 150 | 0 |
| Lajas | 28 | 0 |
| Mayagüez | 400 | 5 |
| Moca | 146 | 2 |
| Peñuelas[178] | 200 | 24 |
| Peñuelas | 54.82 | 38 |
| Ponce | 800 | 25 |
| Salinas | 500 | 32 |
| Toa Baja | 1000 | 4 |
| Vega Baja | 405 | 15 |
| Vieques | 10 | 5 |
| Yauco | 191 | 10 con celdas nuevas |

De estos datos (y el resto de la información provista) se pueden hacer las siguientes determinaciones del estado de los rellenos sanitarios en Puerto Rico:

[178] Hay dos instalaciones en Peñuelas.

1. Al presente, la disposición diaria total de los rellenos sanitarios es de 9,078 toneladas diarias.

2. De un total de 26 instalaciones, 14 no cuentan con geomembranas para evitar la fuga de lixiviados[179].

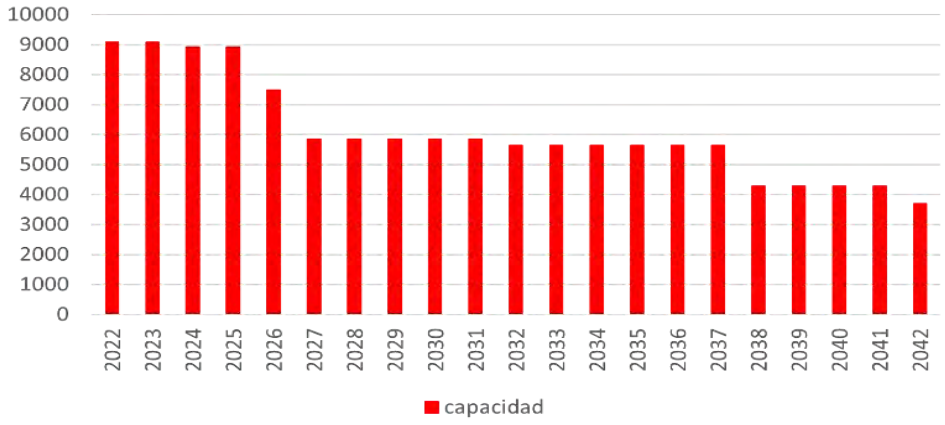
3. De un total de 26 instalaciones, 14 tienen una vida útil de 5 años o menos. La Tabla 10 muestra la reducción en capacidad por los próximos 20 años. Hay que tomar en cuenta que, cuando una instalación se cierra (como fue el caso de San Juan), hay que llevar estos desperdicios a otras instalaciones y este aumento de material les reduce la vida útil.

4. La Ilustración 38 muestra cómo se reduce la cantidad de desperdicios que se depositarán diariamente en los rellenos sanitarios existentes en los próximos 20 años. Para el 2027 se reduce el 35 % de lo que se deposita diariamente respecto al 2022.

5. La Ilustración 39 muestra cuánto es la reducción de los residuos (reducción de materiales, reciclaje y composta, etc.) que tenemos que alcanzar para atender el problema sin tener que recurrir a construir nuevas instalaciones, ampliar las existentes o construir digestores. Aunque factores como desastres naturales y cambios demográficos alteran este análisis, es claro que debemos desarrollar una mejor estrategia basada en reducir materiales y reciclarlos.

**Ilustración 38.**

*Depósito diario de residuos sólidos en instalaciones existentes en Puerto Rico 2022-2042*




[179] Los lixiviados son los líquidos que circulan entre los residuos que se encuentran en los vertederos y que pueden contaminar las aguas subterráneas. Las geomembranas evitan la fuga de lixiviados hacia el terreno.

**Ilustración 39.**

*Reducción de depósito diario de residuos sólidos en instalaciones existentes en Puerto Rico 2022-2042*

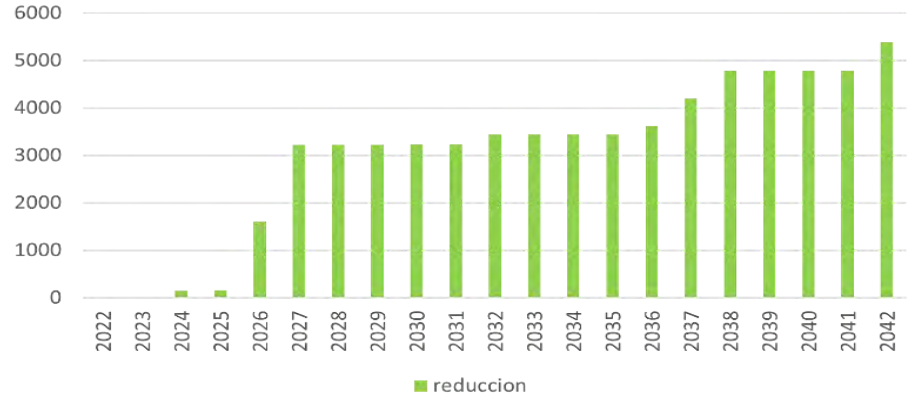



**Tabla 10.**

*Depósito diario de residuos sólidos en instalaciones existentes en Puerto Rico 2022-2042*

| Año | Capacidad | Reducción |
|---|---|---|
| 2022 | 9,079 | 0 % |
| 2023 | 9,079 | 0 % |
| 2024 | 8,933 | 2 % |
| 2025 | 8,922 | 2 % |
| 2026 | 7,476 | 18 % |
| 2027 | 5,857 | 35 % |
| 2028 | 5,857 | 35 % |
| 2029 | 5,857 | 35 % |
| 2030 | 5,847 | 36 % |
| 2031 | 5,847 | 36 % |
| 2032 | 5,640 | 38 % |
| 2033 | 5,640 | 38 % |
| 2034 | 5,640 | 38 % |
| 2035 | 5,640 | 38 % |
| 2036 | 5,640 | 40 % |
| 2037 | 5,640 | 46 % |
| 2038 | 4,290 | 53 % |
| 2039 | 4,290 | 53 % |
| 2040 | 4,290 | 53 % |
| 2041 | 4,290 | 53 % |
| 2042 | 3,690 | 59 % |

Los datos de las tasas de desvío de materiales reciclables entre 2015 y 2018 se resumen en la Tabla 11.

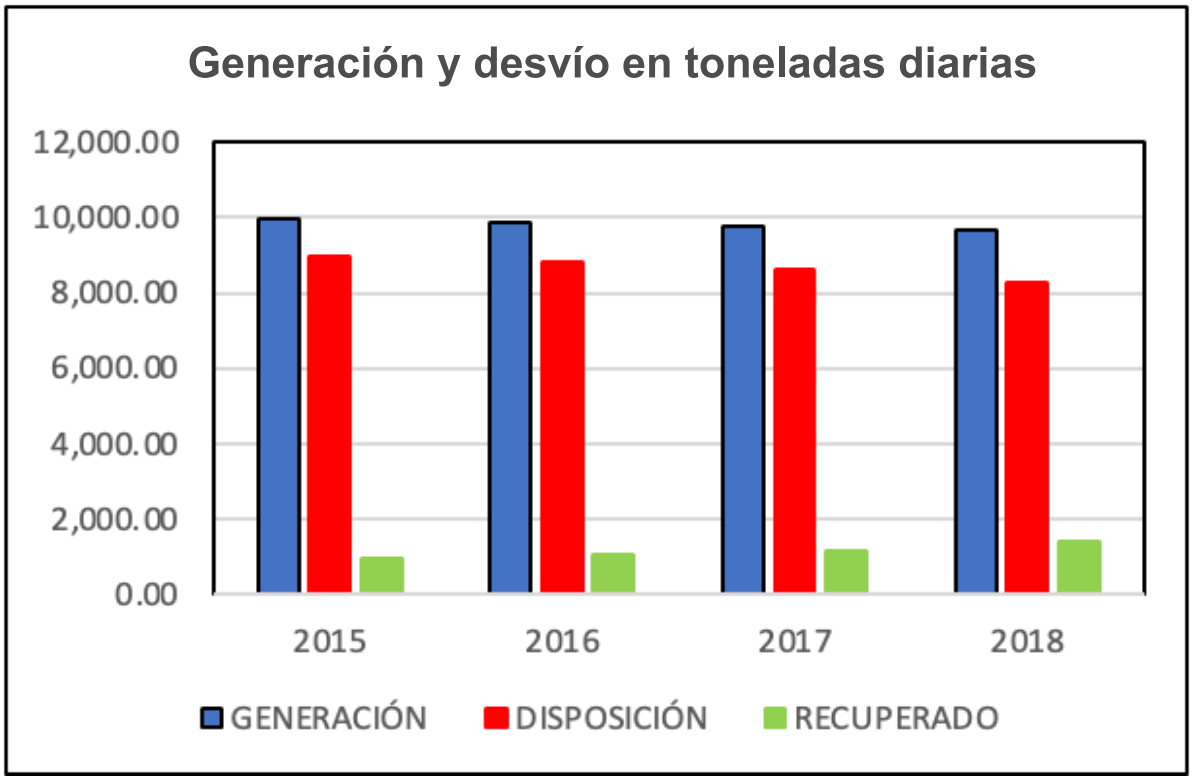
**Tabla 11.**

*Generación, disposición y recuperación de material en toneladas por año*

| Año | Generación | Disposición | Recuperado | Desvío |
|---|---|---|---|---|
| 2015 | 3,643,402.86 | 3,283,357.48 | 360,045.38 | 9.88 % |
| 2016 | 3,607,725.27 | 3,220,330.05 | 387,395.22 | 10.74 % |
| 2017 | 3,563,876.40 | 3,143,289.70 | 420,586.70 | 11.8 % |
| 2018 | 3,536,142.00 | 3,020,537.89 | 515,604.15 | 14.58 % |

**Ilustración 40.**

*Toneladas diarias de generación, disposición y recuperación de residuos sólidos en Puerto Rico 2015-2018*




De los datos sobre el estado de los rellenos sanitarios y de la tasa de desvío destaca lo siguiente:

a. La tasa de desvío/reciclaje de 14.58 % en el 2018 está muy por debajo de las metas establecidas en la Ley para la Reducción y el Reciclaje de Residuos Sólidos en Puerto Rico (Ley 70-1992), según enmendada, que establecía una meta de reciclaje del 35 % de los residuos sólidos para el 2006.

b. Los eventos de desastres naturales con la generación adicional de residuos afectan la vida útil de nuestros rellenos sanitarios.

c. La rápida reducción de la capacidad de los rellenos sanitarios no se puede atender con los presentes niveles de desvío de materiales.

**Observaciones y recomendaciones**

De la información disponible, se observa y recomienda:

1. A base de los datos de capacidad y años de vida, en los próximos 5 años se perderá el 35 % de la capacidad de los rellenos sanitarios y en 15 años se perderá el 46 % de la capacidad. Esto es sujeto a que no ocurran eventos naturales significativos que generen cantidades atípicas de residuos sólidos y que estos reduzcan la expectativa de vida de las instalaciones.

2. A base de los datos de desvío de materiales reciclables, ya para el 2026 la capacidad perdida de los vertederos no podrá compensarse por los presentes niveles de reciclaje (a los niveles del 2018).

3. Hace falta un sistema de recolección de datos que genere continuamente la información sobre los tipos de desperdicios que se producen, las cantidades y las áreas en que se desechan, qué productos generan, qué materiales, dónde se depositan los residuos sólidos en Puerto Rico y el estado presente de las instalaciones de relleno sanitario.

4. El inventario de residuos sólidos actualizado (2023) es clave para diseñar una estrategia de desviación de materiales (reciclaje y composta). Con esta información se podrá establecer qué materiales se pueden reciclar, determinar qué instalaciones se necesitarán para reciclarlos y qué cantidades de materiales se generan para usarse en otros productos; en fin, una estrategia integrada de reciclaje que genere dinero y sea rentable.

5. Se debe hacer una evaluación de los rellenos sanitarios existentes para entender su vida útil considerando posibles eventos atmosféricos y el efecto del aumento de disposición de residuos sólidos en las instalaciones remanentes provocado por el cierre de algunas instalaciones.

6. Se debe evaluar la posible vulnerabilidad de los rellenos sanitarios a los efectos de eventos atmosféricos severos tales como lluvias, inundaciones, erosión costera y hasta el aumento del nivel del mar.

7. Se debe hacer la contabilidad de carbono del manejo y disposición de los residuos sólidos en Puerto Rico para entender su efecto en el cambio climático y para generar estrategias para reducir su huella de carbono.

8. Se deben generar estrategias de política pública para incentivar la reutilización o reparación de productos, la reducción de desechos y el reciclaje de materiales útiles. Ya existen grupos trabajando con la recuperación y búsqueda de

alternativas para residuos como son, por ejemplo, los materiales vegetativos. Entre estas entidades están Vivo Recycling, TAIS y Puerto Rico Hardwoods. Hay oportunidad de mayor organización y coordinación.

Respecto al impacto de plásticos en los ríos y mares, en la investigación de este diagnóstico no se encontraron datos de Puerto Rico, aunque hay estudios del World Bank del Caribe donde se incluyen distintos países y se entiende que en algunos países no hay programas completos de manejo de residuos sólidos ya que habla de materiales sin tratar o manejar.

## 4.5. Salud y bienestar

### 4.5.1. Efectos del cambio climático sobre la salud humana

El cambio climático es una amenaza importante y emergente para la salud pública. Presenta desafíos cambiantes para la salud humana, la distribución y diversidad de los recursos naturales vivos[180]. El cambio climático está afectando la salud física, mental y espiritual a través del aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos; se relaciona con el aumento en los casos de enfermedades infecciosas, exposición a alérgenos en el aire y enfermedades transmitidas por vectores, tales como el dengue y el chikunguña, afectando particularmente en las comunidades costeras tropicales[181].

A nivel de los Estados Unidos, a través del Programa de Investigación del Cambio Global (*U.S. Global Change Research Program*) se ha publicado una serie de informes que evalúan los asuntos relacionados con el cambio climático. La *Cuarta Evaluación Nacional del Clima* (conocida por sus siglas en inglés como NCA4) se publicó en 2018 y la quinta (NCA5) está en desarrollo. Como resultado de las investigaciones realizadas hasta ese momento, la NCA4 identificó cuatro mensajes clave: (1) El cambio climático afecta la salud de todas las personas; (2) La exposición y la resiliencia varían a través de las poblaciones y las comunidades; (3) La adaptación reduce el riesgo y mejora la salud; y (4) La reducción de las emisiones de gases de efecto de invernadero trae como consecuencias beneficios económicos y de salud.

Para abordar el análisis del impacto del cambio climático en la salud, el modelo conceptual utilizado mayormente es el que ilustra los mecanismos bajo los cuales los impulsores del clima producen unos resultados de salud a través de rutas de exposición. Algunos de estos impulsores son el aumento en las temperaturas, la precipitación extrema, eventos atmosféricos extremos y el aumento en el nivel del mar. Algunas de las rutas de exposición son el calor extremo, la pobre calidad del aire, la inseguridad alimentaria, la pobre calidad del agua, los cambios en los agentes infecciosos y el desplazamiento poblacional. Por su parte, entre los resultados en salud se encuentran las enfermedades relacionadas con el calor, las enfermedades cardiovasculares, las enfermedades transmitidas por el agua, los alimentos o los vectores, así como repercusiones en la salud mental y el

[180] IPCC, 2007; GCCIUS, 2009; Barnet et al., 2012.
[181] Githeko et al., 2000; Ndiaye et al., 2006; Gage et al., 2008; Brunkard et al., 2008; Portier et al., 2010; Méndez-Lázaro et al., 2014. NCA5.

estrés. Bajo este modelo conceptual, las rutas de exposición y los resultados en salud se afectan tanto de forma positiva como negativa por el contexto ambiental e institucional y por el contexto social y conductual[182].

Las investigaciones sobre el impacto del cambio climático en la salud han ido más allá de identificar enfermedades o afecciones[183]. Más recientemente se ha fijado el enfoque en las desigualdades en salud que se manifiestan en distintas poblaciones y grupos sociales[184]. La Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud (CDSS), creada por la Organización Mundial de la Salud, reconoce que el proceso salud-enfermedad se da de manera desigual entre países, ciudades e incluso grupos poblacionales. Es por esta razón que el enfoque principal de la CDSS es presentar mecanismos para reducir las desigualdades en salud, consideradas como innecesarias, injustas y evitables.

En un ámbito más práctico para atender los asuntos de desigualdades en salud, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) elaboraron un modelo conceptual conocido por sus siglas en inglés como BRACE (*Building Resiliency Against Climate Effects* o Construyendo resiliencia contra los efectos climáticos)[185]. Este modelo consiste en cinco pasos que pueden seguir los departamentos de salud de los estados y territorios para identificar cómo el cambio climático ha afectado y afectará la salud humana en cada una de sus jurisdicciones. También sirve de guía para desarrollar e implantar planes de adaptación con un enfoque en la justicia, equidad, diversidad e inclusión, conocido por sus siglas como JEDI. Los cinco pasos que establece el modelo BRACE son los siguientes:

1. Anticipar el impacto climático y evaluar las vulnerabilidades.
2. Proyectar la carga de enfermedad.
3. Evaluar intervenciones de salud pública.
4. Desarrollar e implantar un plan de salud y adaptación climática.
5. Evaluar el impacto y mejorar la calidad de las actividades.

#### 4.5.1.1. *Efectos directos*

Los eventos extremos afectan no tan solo los determinantes sociales de la salud, sino también los servicios esenciales, incluyendo la salud ambiental, el sistema de atención médica y el acceso de la población al sistema de salud. También tienen un impacto en las poblaciones vulnerables y los resultados en salud, que incluyen la salud física, mental y la calidad de vida.

Los eventos extremos como los huracanes y ciclones tropicales que amenazan la vida son las formas más desastrosas en que las personas experimentan los efectos climáticos en todo el Caribe. Como ya hemos mencionado, en el 2017, Puerto Rico y muchas otras islas del Caribe experimentaron una de las temporadas de huracanes más catastróficas

182 USGCRP, 2018, pág. 543.
183 OMS, 2008.
184 *World Health Organization*. (2010). A conceptual framework for action on the social determinants of health. *World Health Organization*.
185 En la sección 4.5.1 se incluye un resumen de cada uno de los pasos del modelo BRACE.

en la historia reciente. La evidencia demuestra que la temporada de huracanes para ese año fue una anómala, que estuvo realzada por el aumento en el registro de temperatura de la superficie del mar[186] [187], lo cual es atribuible, en parte, a las tendencias de calentamiento global[188]. El huracán María representó el ciclón tropical con mayor intensidad de lluvia en 24 horas al menos desde 1898[189].

Muchos de estos territorios afectados (por ejemplo, Puerto Rico) experimentaron importantes interrupciones en los servicios esenciales (por ejemplo, agua potable y energía eléctrica, telecomunicaciones, transporte, carreteras y puentes) y problemas de salud ambiental (por ejemplo, saneamiento del agua, exposición a contaminantes, enfermedades transmitidas por vectores, higiene de los alimentos, intoxicación por monóxido de carbono y exposición a hongos). En el caso de Puerto Rico, hubo un exceso de mortalidad tras el paso del huracán María.

Es muy probable que los huracanes más frecuentes e intensos interactúen con infraestructura frágil y obsoleta, y un perfil demográfico cada vez más vulnerable con elevados determinantes sociales de la salud. Como resultado se esperan interrupciones en la atención médica, una preocupación particular para los grupos sensibles, las comunidades vulnerables y las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. Estas comunidades son sistemáticamente excluidas del bienestar, la educación y otros servicios y beneficios sociales que ayudan a mantener buenas condiciones de salud. Esto ha presentado desafíos importantes para estas comunidades y para los funcionarios de salud pública que buscan ayudar a los residentes en sus propios términos significativos.

Las siguientes características sociodemográficas aumentan la vulnerabilidad de los individuos ante los peligros relacionados con el clima[190]:

- Personas con enfermedades preexistentes, especialmente trastornos mentales y asma.
- Personas con movilidad limitada.
- Personas con discapacidades.
- Personas con bajos ingresos o en pobreza.
- Adultos mayores, especialmente los que viven solos.
- Embarazadas.

---

[186] Halam, S., & et.al. (2019). Ocean precursors to the extreme Atlantic 2017 hurricane season. *Nat. Commun, 10*, 896.

[187] Ramos-Scharrón, C., & Arima, E. (2019). “Hurricane María’s Precipitation Signature in Puerto Rico: A Conceivable Presage of Rains to Come.” Recuperado en febrero de 2022, de www.nature.com:https://doi.org/10.1038/s41598-019-52198-2.

[188] Ídem.

[189] Ídem.

[190] EPA. 2021. *Climate Change and Social Vulnerability in the United States: A Focus on Six Impacts*. *U.S. Environmental Protection Agency*, EPA 430-R-21-003; *American Public Health Association*, *Climate Changes Health: Vulnerable Populations*, accesado el 5 de abril de 2023.

- Niños e infantes.
- Personas social o lingüísticamente aisladas.
- Personas de piel oscura o negra.

#### *4.5.1.2. Servicios ecosistémicos y salud pública*

Los bienes y servicios ecosistémicos producen muchos de los beneficios que recibimos para sustentar la vida, tales como el aire limpio, el suelo fértil, la producción de cosechas, polinización y el control de inundaciones[191]. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera el concepto de servicios ecosistémicos como una estrategia para ordenar en forma integrada la tierra, el agua y los recursos vivos que fomenta el uso sostenible y la conservación de forma equitativa[192].

Estudios demuestran cómo los servicios ecosistémicos se pueden afectar por el aumento en las temperaturas dentro de las ciudades como resultado de episodios de calor extremo. Igualmente, cómo se pueden afectar como consecuencia de la pobre planificación urbana y el impacto en la salud. En Puerto Rico, se destaca un estudio que relacionó los servicios ecosistémicos con la salud pública. El estudio exploró el rol de estos servicios en la prevención de enfermedades gastrointestinales en el contexto de eventos extremos[193]. Este estudio encontró que, en Puerto Rico, las enfermedades gastrointestinales aumentan luego de eventos de lluvia, y que la infiltración natural que provee el suelo del karso puede ayudar a prevenir inundaciones y la ocurrencia de este tipo de enfermedades[194].

#### *4.5.1.3. Efectos a través de los sistemas socioeconómicos*

Otros factores importantes que juegan también un papel en los patrones de contagio incluyen la inmunidad y movilidad, y el aumento de la densidad de la población[195], factores socioeconómicos (desigualdad y pobreza), políticas públicas, implementación de sistemas de vigilancia, programas de control del dengue y condiciones deficientes de tanques sépticos, entre otros.

La pobreza y la falta de acceso a los recursos exacerban las vulnerabilidades. Por ejemplo, más de 1.8 millones de latinos viven dentro de un radio de media milla de complejos petroleros y de gas en los Estados Unidos[196]. Además, las poblaciones expuestas a temperaturas más altas y a la contaminación del aire se han relacionado con resultados negativos en el parto: embarazos prematuros, de bajo peso al nacer y de mortinatos.

---

[191] Adie Tomer y Caroline George. (2023). America's airports aren't ready for climate change. *Brookings Institution*.
[192] (FAO s.f.). (Andrade 2007).
[193] De Jesús Crespo R, Wu J, Myer M, Yee S, Fulford R. "Flood protection ecosystem services in the coast of Puerto Rico: Association between extreme weather, flood hazard mitigation and gastrointestinal illness." *Sci Total Environ*. 2019 Aug 1;676:343-355. Doi: https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2019.04.287. EPUB 2019 Apr 24. PMID: 31048165.
[194] De Jesús, id.
[195] Bennet et. al., 2010.
[196] CDC, 2019, p.47.

Las madres afroamericanas tienen 2.4 veces más probabilidades de tener hijos con bajo peso al nacer que las mujeres caucásicas[197].

Puerto Rico ha sido catalogado como el tercer país con mayor desigualdad económica[198] y con altos niveles de desigualdad social[199]. El coeficiente de Gini (medida de desigualdad económica entre familias) ha sido relativamente alto en Puerto Rico durante la crisis económica. La relación entre la alta prevalencia de enfermedades crónicas en las comunidades pobres y la intensificación de la carga de los impactos del cambio climático se considera un tema clave a identificar e investigar en Puerto Rico.

#### *4.5.1.4. Enfermedades transmitidas por el agua*

Los eventos extremos como el huracán María, que destruyó la red eléctrica, afectan las plantas de tratamiento de agua. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) encontró contaminación de los ríos y otras fuentes de agua con enterococos, la bacteria responsable de la diverticulitis, de infecciones del tracto urinario y de la meningitis. Los casos de leptospirosis, que ya se documentaban en la isla, empeoraron con el paso del huracán María. En apenas semanas, para octubre del 2017, se habían reportado 121 casos de leptospirosis y 4 muertes confirmadas, lo que significó el doble de casos anuales[200].

##### *4.5.1.4.1. Sargassum sp.*

Esta es una fuente natural de degradación de la calidad del aire en las comunidades costeras. Históricamente, las algas de sargazo han estado presentes en el mar Caribe. Desde el 2011, cantidades masivas de sargazo pelágico han llegado a la costa a lo largo de las islas caribeñas[201] de enero a agosto. En Puerto Rico, las costas este y sur son más vulnerables que la costa norte; experimentan volúmenes mucho más altos de sargazo varado durante todo el año[202]. El sargazo que flota libremente suele tener varios pies de profundidad y cubre miles de millas cuadradas del océano. A medida que estas esteras llegan a la costa, se descomponen y liberan sulfuro de hidrógeno y gas amoniaco. Esto afecta a los turistas y comunidades en las zonas costeras en las islas del Caribe[203] (véase más al respecto en la sección 4.8). La exposición a este problema ambiental podría estar asociada a palpitaciones cardíacas, dificultad para respirar, mareos, vértigo, dolores de cabeza y erupciones cutáneas[204].

---

197 CDC, 2019, p.48.
198 Centro de Información Censal. (2018). Notas del Centro de Información Censal (CIC) #29: Desigualdad social en Puerto Rico vs. el mundo.
199 Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. (2018). Informe sobre desarrollo humano: Puerto Rico 2016 [Archivo PDF].
200 Guerra Velázquez, G.R. (2022). Hurricane María and Public Health in Puerto Rico: Lessons Learned to Increase Resiliency and Prepare for Future Disasters. *National Library of Medicine*.
201 Wang y Hu, 2017; Johns et al., 2020.
202 Trinanes et al., 2021.
203 Resiere et al., 2021.
204 p. Ej., ANSES, 2017; Fidai et al., 2020; Resiere et al., 2021, 2019, 2018.

En el 2018, en Guadalupe y Martinica hubo más de 11,000 casos de presunta exposición a altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno[205]. Los pacientes se quejaron de palpitaciones cardíacas, dificultad para respirar, mareos, vértigo, dolor de cabeza y erupciones cutáneas. La Agencia Francesa de Seguridad y Salud Alimentaria, Ambiental y Ocupacional (ANSES) llevó a cabo una evaluación de expertos sobre los humos gaseosos emitidos por el sargazo en descomposición[206] y reveló que el sargazo puede acumular también metales pesados como el arsénico y el cadmio que pueden representar un riesgo para la salud humana y para el medioambiente.

#### *4.5.1.5. Contaminación del aire y salud pública*

##### *4.5.1.5.1. Calidad de aire (hongos, esporas, polen, polvo del Sahara)*

A nivel mundial, las mayores fuentes de polvo se encuentran en el hemisferio norte, con importantes contribuciones en las regiones del desierto del Sahara y Sahel en el norte de África. Estas regiones por sí solas aportan más de 20 millones de toneladas de polvo en suspensión por año[207]. Los vientos alisios transportan el polvo africano sobre el océano Atlántico, llegando a América del Norte y del Sur, las naciones insulares del Caribe y los territorios de los EE. UU.[208].

Las partículas de aerosol de polvo afectan el clima, proveen nutrientes y fertilizantes naturales a ecosistemas terrestres y marinos incluidos los arrecifes de coral y los bosques[209]. En Puerto Rico, el polvo del Sahara se asocia con afecciones cardiovasculares y respiratorias[210]. Los brotes de polvo del Sahara se asocian también con un riesgo mayor o excesivo de visitas a la sala de emergencias y hospitalizaciones relacionadas con el asma en niños en Trinidad y Tobago[211], Guadalupe[212] y Granada[213]. Muchos de estos problemas en la región del Caribe son estacionales[214]. La preparación del sector de la salud pública para mitigar las enfermedades relacionadas con estos eventos es baja aún.

La relación entre el polvo, el particulado en aerosol y los alérgenos sobre el clima y las condiciones del tiempo, los ecosistemas y las poblaciones humanas son áreas por evaluar. El asma afecta desproporcionadamente a menores de bajos ingresos y diversidad étnica y racial, siendo los latinos lo más afectados[215]. Hay datos que demuestran la alta

---

205 Resiere et al., 2018ª.
206 ANSES, 2017.
207 Yu et al., 2015.
208 Prospero, 1999; Swap et al., 1996; Prospero y Mayol-Bracero, 2013.
209 Prospero, 1999; Twohy et al., 2009; Evan et al., 2011; Okin et al., 2011; Prospero & Mayol-Bracero, 2013; Prospero et al., 2014; West et al., 2016; Zhang et al., 2016.
210 Lillianne et al., 2019.
211 Gyan et al., 2005.
212 Cadelis et al., 2015.
213 Akpinar- Elci et al., 2015.
214 Monteil et al., 2005; Depradine & Lovell 2007; Matthew et al., 2013.
215 Szema, A., Li, J., Pagnotta, A., Singh, M., White, J.A. (2021). “Asthma, Hay Fever, Pollen, and Climate Change.” In: Pinkerton, K.E., Rom, W.N. (eds) *Climate Change and Global Public Health*. Respiratory

prevalencia de asma entre niños, por ejemplo en la zona metropolitana de San Juan, donde también se han registrado altas olas de calor[216].

#### *4.5.1.6. Enfermedades transmitidas por vectores*

Las enfermedades transmitidas por vectores (VBD, por sus siglas en inglés) en el Caribe provienen principalmente de los mosquitos *Aedes aegypti, Aedes albopictus y Culex*. Muchos investigadores sugieren que tanto *Aedes aegypti* como *Aedes albopictus* tienen excelentes habilidades de adaptación con respecto al aumento de las temperaturas y las condiciones extremas. En la actualidad, no existe una vacuna o terapia eficaz para contrarrestar los síntomas del dengue, el chikunguña y el zika. El dengue es una de las enfermedades más comunes de los seres humanos, con más de un tercio de la población mundial en riesgo[217]. En Puerto Rico, las grandes epidemias se han repetido cada 3-5 años (las epidemias se definen como tres o más sospechas de dengue notificadas por cada 1,000 personas durante dos semanas consecutivas).

Las relaciones entre las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores y las condiciones ambientales de una región en particular están bien documentadas. Las variables ambientales más asociadas con las transmisiones de VBD son la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y la temperatura de la superficie del mar. El aumento de las temperaturas promedio puede llevar a la expansión del rango geográfico de muchos vectores, a la disminución de los períodos de incubación extrínseca de muchos patógenos y a una mayor tasa de contacto de mosquitos (como *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*) picando a sus presas, incluidos los humanos.

Estudios recientes presentan evidencia de que la abundancia y el potencial de transmisión del *Aedes aegypti* en Puerto Rico están influenciados por la temperatura y la precipitación[218]. Existe una interrelación entre los determinantes climáticos, ecológicos, sociales y culturales que afectan el surgimiento y la transmisión del dengue en Puerto Rico y sus implicaciones en la respuesta contra el zika[219]. Igualmente, se ha demostrado una asociación positiva entre el *Aedes aegypti* y la alta densidad de viviendas, regiones urbanas y elevadas temperaturas del agua en macetas de bambú, mientras que el *Aedes mediovittarus* se asociaba positivamente con áreas boscosas, regiones rurales y se correlacionaba negativamente con la temperatura del agua[220]. El mosquito no se dispersa fuera de su lugar de desarrollo y se mantiene en el nivel de los hogares[221]. Otros factores importantes que juegan también un papel en los patrones de contagio incluyen la inmu-

Medicine. Humana, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54746-2_10; (EPA, https://www.epa.gov/children/childrens-environmental-health-facts).

216 Pablo Méndez-Lázaro, Cynthia M. Pérez, Ernesto Rodríguez, Odalys Martínez, December 2016. "Climate change, heat, and mortality in the tropical urban area of San Juan, Puerto Rico." *International Journal of Bioetereology 62*(5) doi: 10.1007/s00484-016-1291-z.

217 Buckzac et al., 2012.

218 Johansson et al., (2009), Moore et al., y Méndez-Lázaro et al., (2014).

219 Matysiak y Roess (2017).

220 Cox et al., 2007.

221 Harrington et al, 2005.

nidad y movilidad, aumento de la densidad de la población[222], factores socioeconómicos (desigualdad y pobreza), políticas públicas, implementación de sistemas de vigilancia, programas de control del dengue y condiciones deficientes de tanques sépticos, entre otros.

### *4.5.1.7. Episodios de calor extremo y salud pública*

Las olas de calor están aumentando en frecuencia, intensidad y duración, lo que representa una amenaza de una mayor incidencia de enfermedades y muertes relacionadas con el calor. La vulnerabilidad al calor se conceptualiza en función de la exposición al calor y la sensibilidad de las personas. Son múltiples los factores asociados a los determinantes sociales de la salud que contribuyen a la vulnerabilidad al calor. Algunos ejemplos son: tasa de población que vive sola, personas con discapacidades, personas que viven por debajo del umbral de pobreza, comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas, niños menores de 5 años, población de edad avanzada, población con enfermedades preexistentes y falta de acceso a seguro médico. Al mismo tiempo, la sensibilidad de las personas al calor depende de una serie de factores individuales, que bien pueden influir en la capacidad de adaptación y la capacidad para hacer frente a temperaturas extremas. Como explicamos en la sección 3.4.1.2, en Puerto Rico hay evidencia de episodios de calor extremo. Se observó una serie de eventos de temperatura extrema durante los veranos de 2012, 2013 y 2014, las temporadas con más días excediendo los 90 °F, el mes más caluroso jamás registrado y las rachas más largas de 90 °F en la historia de Puerto Rico.

Las temperaturas dentro de las ciudades pueden también alcanzar niveles estresantes durante los episodios de calor extremo. La urbanización, la transformación del paisaje y el crecimiento demográfico han modificado los climas urbanos, y los efectos de las islas de calor urbanas son más evidentes en Puerto Rico. Eventos más intensos en áreas urbanas tendrían un efecto negativo en la salud humana y en actividades sociales y económicas, además de afectar la integridad de los ecosistemas y los beneficios que obtenemos de ellos. San Juan, capital de Puerto Rico, es una de las ciudades tropicales más grandes del Caribe insular. Las temperaturas dentro de la ciudad de San Juan pueden alcanzar niveles estresantes durante los episodios de calor extremo. Existe evidencia sustancial que sugiere efectos de islas de calor urbano en San Juan. Debido a la rápida urbanización y la transformación del paisaje, los efectos de las islas de calor urbano se han vuelto más peligrosos.

Las áreas más calientes y vulnerables al calor corresponden a áreas altamente construidas (por ejemplo, zonas residenciales, comerciales e industriales), incluido el aeropuerto internacional, puertos marítimos, estacionamientos y áreas residenciales de alta densidad. Las áreas más frescas en San Juan corresponden a paisajes con infraestructura verde, vegetación y cuerpos de agua (por ejemplo, ríos, lagunas, jardines botánicos, humedales y parques recreativos). Estos ejemplos proporcionan evidencia de cómo las infraestructuras verde y azul en un ambiente cálido y húmedo proporcionan servicios ecosistémicos esenciales para la adaptación climática y ayudan a regular las temperatu-

[222] Bennet et. al., 2010.

ras extremas. Estudios científicos evidencian que, en la zona metropolitana de San Juan, los episodios de calor extremo están asociados con un aumento significativo en el riesgo relativo de mortalidad. Los accidentes cerebrovasculares y las enfermedades cardiovasculares son de las principales causas de muerte más asociadas con las temperaturas extremas en Puerto Rico.

En climas cálidos como Puerto Rico y la región del Caribe, se necesita energía eléctrica para enfriar los entornos y los ambientes interiores, así como todos los inmuebles y edificios. Por tal motivo, el cambio climático podría afectar la necesidad de enfriamiento. La demanda de energía eléctrica en Puerto Rico se correlaciona bien con el comportamiento estacional de la temperatura[223]. Históricamente ocurre mayor demanda y consumo de energía eléctrica durante los meses de verano. Sin embargo, el consumo de energía eléctrica disminuyó en el país durante las últimas décadas debido a múltiples factores socioeconómicos: migración, reducción poblacional, menos industrias y comercios y el uso de equipos más eficientes.

Bajo los escenarios de reconstrucción del sistema eléctrico destruido en el 2017, a medida que las temperaturas aumentan rápidamente en Puerto Rico y los episodios de calor son cada vez más frecuentes, se produce el consiguiente aumento en la demanda de electricidad para refrigeración y enfriamiento del entorno. Desafortunadamente, hoy en día el sistema eléctrico actual es tan frágil y obsoleto que no tiene la capacidad de satisfacer las demandas de energía durante las temporadas cálidas. Desde el huracán María, los apagones y las deficiencias de generación de energía son comunes y frecuentes en Puerto Rico durante la temporada cálida dejando a miles de personas desprovistas de servicios esenciales[224].

#### *4.5.1.8. Enfermedades emergentes, pandemias y epidemias*

Los primeros casos de COVID-19 notificados en la región del Caribe se registraron el 2 de marzo de 2020. El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró al COVID-19 una pandemia mundial[225]. Los primeros casos confirmados en Puerto Rico se diagnosticaron el 13 de marzo de 2020. Existe una amplia especulación sobre si el brote de COVID-19 es estacional[226]. Investigaciones anteriores han encontrado que la transmisión del SARS, el MERS y la influenza se asocian a menudo con la variabilidad estacional y las tendencias climáticas, pero no todos los virus respiratorios estacionales experimentan los mismos patrones[227]. La pregunta es si el COVID-19 es susceptible a factores similares[228]. Los factores ambientales primarios que podrían influir en la trans-

[223] Méndez-Lázaro, P., Martínez-Sánchez, O., Méndez-Tejeda, R., Rodríguez, E., Morales, E., & Scmitt-Cortijo, N. (2015). *Extreme Heat Events in San Juan Puerto Rico: Trends and Variability of Unusual Hot Weather and its Possible Effects on Ecology and Society. Climatology & Weather Forecasting*.
[224] Turoff, M., Bañuls, V. A., & Ramírez de la Huerga, M. (2018). *Hurricanes Send Signals for the Future of Emergency Preparedness*. En K. B. Tomaszewski (Ed.), *Proceedings of the 15th ISCRAM Conference.* Rochester, NY: WiPe/CoRe Paper - *T10 Case Studies and Reflections*.
[225] OMS, 2020.
[226] De Ángel Solá et al., 2020; NAS, 2020.
[227] Monamele et al., 2017; Moriyama et al., 2020.
[228] Sajadi et al., 2020; Wang et al., 2020.

misión viral respiratoria incluyen la temperatura de la superficie del aire, la humedad relativa y los patrones de lluvia[229].

Las rutas de transmisión directa e indirecta de este virus ocurren al tocar superficies infectadas (piel a piel, tocar objetos inanimados infectados) y luego mediar la infección del virus a través de la boca, la nariz o los ojos[230]. La transmisión a través de la inhalación de pequeñas gotas de aire respiratorio exhalado (por ejemplo, contacto cercano a 1 metro) y aerosoles[231] parece ser especialmente eficaz[232]. El COVID-19 aumenta el riesgo de mortalidad debido a una enfermedad respiratoria grave y una lesión cardíaca[233].

Una pregunta es si los efectos en la salud de una interacción entre los brotes estacionales de polvo sahariano que ocurren cada año en el Caribe entre mayo y agosto pueden tener impactos significativos en la salud y la mortalidad debido a la pandemia de COVID-19. Los microorganismos en las partículas en suspensión o el polvo en el aire pueden tener relación con enfermedades infecciosas[234]. Es importante comprender si tales interacciones conducen a vulnerabilidades en los pacientes que exacerban los efectos del COVID-19.

### 4.5.2. Determinantes sociales de la salud y cambio climático

La CDSS establece que “hay una íntima relación entre el deterioro y el agotamiento de los sistemas naturales, incluido el sistema climático, y la tarea de reducir las desigualdades sanitarias en todo el mundo. El daño ecológico afecta a todos los integrantes de la sociedad, pero es más perjudicial para los grupos más vulnerables”[235]. En este sentido, el enfoque de justicia climática debe estar en el centro del análisis. En particular, la justicia climática busca exponer las verdaderas causas del cambio climático para atender y desmantelar los sistemas de poder que hacen que unos grupos en la sociedad se vean más afectados que otros, generando así injusticias. La justicia climática busca cambiar esas estructuras de poder y realza las obligaciones y relaciones éticas entre las personas y los ecosistemas[236].

Según el informe rendido por la CDSS en el 2018, el cambio climático, la urbanización, el desarrollo rural, la agricultura y la seguridad alimentaria son determinantes entrelazados de la salud de la población y la equidad en la atención médica y de salud. Por lo cual, resulta fundamental garantizar que las políticas sociales y económicas propuestas para detener el cambio climático y otras formas de degradación del medioambiente tengan en cuenta la equidad en salud. Además, la CDSS enfatiza en lo necesario que es analizar

---

229 Lowen et al., 2008; Tamerius et al., 2013; NAS, 2020.
230 Guangbo et al., 2020; Moriyama et al., 2020; Chang et al., 2020; Peng et al., 2020.
231 Por ejemplo, presencia de microbios y partículas de <5 µm –menos de 5 micrómetros o millonésimas partes de un metro– de diámetro que permanecen en el aire durante largos períodos de tiempo, transmitidas a otros a distancias superiores a 1m.
232 Guangbo et al., 2020; *Service*, 2020.
233 Shi et al., 2020; Madjid et al., 2020.
234 Yu et al., 2004; Guangbo et al., 2020; WHO, 2020b.
235 OMS, 2008, p.71.
236 Farhana Sultana, “Critical climate justice,” *Geography Journal*, Oct. 13, 2021, DOI: https://doi.org/10.1111/geoj.12417.

con más profundidad la relación que existe entre los determinantes sociales, el cambio ecológico y las desigualdades en salud "que inspire la elaboración tan necesaria de políticas y su ejecución"[237].

El tema de los determinantes sociales de la salud conlleva el análisis de las condiciones de vida tales como la seguridad en los entornos, la estabilidad económica, el acceso a sistemas de salud que sean de calidad, la continuidad de las tradiciones y de la cultura, el acceso y la calidad de la educación, el acceso a alimentos nutritivos para contrarrestar la inseguridad alimentaria, las oportunidades de actividad física, la salud mental, las condiciones de los vecindarios, el sistema de salud y el ambiente[238]. Además, incluye el análisis de los determinantes políticos.

De la revisión de literatura sobre este tipo de análisis se identificó un estudio del 2018 en el que se analiza el aumento en el riesgo de las personas con discapacidades ante los desastres y se proponen tres modelos para entender los riesgos de esta población: el modelo de vulnerabilidad física, modelos sociopolíticos y modelos de justicia social[239], como parte del enfoque de justicia climática que mencionamos al comienzo de esta sección. Los autores integran en su análisis lo que denominan *colonialismo ambiental*

–el desarrollo y la privatización de las costas, la contaminación por la Marina de Guerra de los Estados Unidos (principalmente en Vieques) y la extracción y explotación de los recursos naturales. También analizan el estado de bienestar en Puerto Rico y lo describen como abandonado, dadas las políticas públicas dispares en comparación con los estados de Estados Unidos debido a su condición territorial.

Rivera (2020) abunda en el tema del colonialismo ambiental en Puerto Rico, analizando y comentando lo que denomina *colonialismo del desastre*[240]. Utiliza el término para describir el rol de los desastres en la perpetuación de la colonización en el Caribe y señala como uno de sus ejemplos el caso de Puerto Rico y el huracán María. Por otra parte, se considera esencial poder identificar los mecanismos históricos a través de los cuales el clima influye en la seguridad alimentaria y en la disponibilidad del recurso agua en Puerto Rico. Por ejemplo, estudiar el impacto de las sequías o huracanes en los sistemas de alimentación desde la producción hasta el consumo, así como el control de insectos.

Además de lo anterior, se ha estudiado el impacto que han tenido eventos extremos, como el huracán María en la cadena de distribución farmacéutica de Estados Unidos. El 10 % de los fármacos que se utilizan en Estados Unidos proviene de farmacéuticas

237 OMS, 2008, p.196.

238 Hernández-Delgado, E. (2015). The emerging threats of climate change on tropical coastal ecosystem services, public health, local economies and livelihood sustainability of small islands:Cumulative impacts and synergies. *Marine Pollution Bulletin*, 5-28.

239 Hayward, A., Morris, Z., & Otero Ramos, Y. (2019). The Political Determinants of Disaster Risk: Assessing the Unfolding Aftermath of Hurricane Maria for People with Disabilities in Puerto Rico. *Environmental Justice, 11*(2), 89-94.

240 Rivera, D. Z. (2020). Disaster Colonialism: A Commentary on Disasters Beyond Singular Events to Structural Violence. *International Journal of Urban and Regional Research*, 126-135.

ubicadas en Puerto Rico, por lo que resulta fundamental identificar las vulnerabilidades de los suplidores ante los riesgos severos del clima[241].

En cuanto a la estabilidad económica, se han utilizado cuatro categorías: empleo, inseguridad alimentaria, inestabilidad de vivienda y pobreza[242]. El 85 % de los alimentos en Puerto Rico es importado[243]. Sin embargo, ante la posibilidad de que en el futuro se pueda desarrollar una agricultura sustentable que permita que la mayoría del consumo sea local, es importante evaluar las respuestas de los agricultores y pescadores ante eventos extremos como resultado del cambio climático. A estos fines resaltan los trabajos de Perfecto, et. al (2019), Rodríguez, Moore & Niles (2021) y Rodríguez y Niles (2021), en los que se estudian las vulnerabilidades de los agricultores (principalmente de monocultivos), instancias de resistencia y resiliencia y las motivaciones para la adaptación, luego del huracán María. Igualmente, se ha estudiado la percepción de los pescadores sobre su vulnerabilidad ante eventos extremos[244].

Por otro lado, la educación de calidad aumenta las oportunidades de empleos con salarios más altos y a su vez está vinculada con comportamientos saludables[245]. Por ello se requiere evaluar el sistema de educación en Puerto Rico en cuanto a la preparación ante los efectos del cambio climático, no solo en términos de los peligros ambientales y de infraestructura, sino también en los programas de educación a sus estudiantes y a la comunidad sobre estrategias de resiliencia y adaptación[246] (véase la sección 4.12).

Dentro del tema de los determinantes sociales se pueden incluir los sistemas de infraestructura que son críticos para el funcionamiento de las comunidades. El sistema eléctrico es el más crítico, toda vez que muchos otros sistemas dependen de él. Ante la precariedad del sistema eléctrico, se han planteado alternativas de generación casera[247] que se discutirán en el capítulo 7 de este Plan. Los conceptos de justicia –incluyendo la justicia climática, equidad, diversidad e inclusión– son fundamentales para dirigir los recursos a comunidades con alta susceptibilidad a los impactos climáticos debido a las inequidades históricas y las desigualdades en el acceso a una amplia gama de recursos tanto públicos como privados.

---

[241] Lawrence, J.-M., Ibne Hossain, N. U., Jaradat, R., & Hamilton, M. (2020). Leveraging a Bayesian network approach to model and analyze supplier vulnerability to severe weather risk: A case study of the U.S. pharmaceutical supply chain following Hurricane Maria. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 49*, 101607.

[242] DePriest & McCauley, 2019.

[243] Comas-Pagán, 2014; Irizarry-Ruiz, 2016; Álvarez-Berríos et al., 2018; Rodríguez et. al, 2021.

[244] Seara, T., Pollnac, R., & Jakubowsky, K. (2020). Impacts Natural Disasters on Subjective Vulnerability to Climate Change: A Study of Puerto Rican's Fisher's Perceptions after Hurricanes Irma & Maria. *Coastal Management, 48*(5), 418-435.

[245] DePriest & McCauley, 2019.

[246] Sheffield, Uijttewaal, Stewart, & Galvez, 2017.

[247] Mango, M., Casey, J. A., & Hernández, D. (2021). Resilient Power: A home-based electricity generation and storage solution for the medically vulnerable during climate-induced power outages. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/ pii/S0016328721000161. *Futures,* 128, 102707.

### 4.5.3. Condiciones del sistema de salud ante el cambio climático

Los eventos extremos impactan no tan solo los determinantes sociales de la salud, sino también los servicios esenciales, incluyendo los problemas de salud ambiental, el sistema de atención médica y el acceso de la población al sistema de salud. También tienen un impacto en las poblaciones vulnerables y los resultados en salud, que incluyen la salud física, mental y la calidad de vida. La planificación de la adaptación con los principios JEDI brinda a los profesionales de la salud pública y a los responsables de la formulación de políticas una herramienta poderosa para identificar los impulsores estructurales de la exposición desproporcionada a la contaminación y los impactos climáticos como el calor, las inundaciones, los incendios forestales y la sequía.

Por otro lado, la clase médica debe identificar los enlaces entre el impacto del cambio climático y la mortalidad. Igualmente, es importante identificar los efectos de las variaciones del clima y los desastres.

### 4.5.4. Salud mental y cambio climático

En Puerto Rico, luego del paso del huracán María, el trabajo de organizaciones de base comunitaria –que recibieron ninguna o poca ayuda gubernamental– llenó los vacíos en los esfuerzos de recuperación[248]. A través del estudio del trabajo con un enfoque ecosocial se identificó que estos esfuerzos comunitarios son cruciales para la protección efectiva de los grupos más vulnerables. Entre los efectos relacionados mayormente con la salud mental están el trauma, la ansiedad y la depresión[249]. Si bien hubo comunidades que se pudieron organizar, la migración tuvo un rol muy importante en Puerto Rico luego del huracán María[250]. Se estima que aproximadamente 160,000 personas emigraron de Puerto Rico, una magnitud nunca vista[251]. Los retos ante la reubicación dirigida por las comunidades debido a eventos climáticos en Puerto Rico han comenzado a ser objeto de estudio[252]. Se ha demostrado un rol importante en el establecimiento de coaliciones colaborativas para enfrentar la relocalización, así como la recopilación de las historias y las voces de las comunidades.

Un estudio más reciente que analizó el estrés percibido a un año del huracán María halló que los niveles de estrés de las personas empeoraron[253]. Las investigadoras resaltaron la importancia de que los gobiernos tanto locales como federales establezcan planes para

[248] Hayward, A., Morris, Z., & Otero Ramos, Y. (2019). The Political Determinants of Disaster Risk: Assessing the Unfolding Aftermath of Hurricane Maria for People with Disabilities in Puerto Rico. *Environmental Justice, 11*(2), 89-94.

[249] Erlick, J. C. (2021). "Trauma and Collective Memory." En J. C. Erlick, *Natural Disasters in Latin America and the Caribbean: Coping with Calamity.*

[250] Griffith, D. (2020). Environmental Change and Human Migration Stylized Facts from Puerto Rico and Honduras. *Coastal Management*.

[251] Erlick, 2021, p. 85.

[252] Maldonado, J., Flores Castillo Wang, I., Eningowuk, F., Laukea, L., Lascurain, A., Lazrus, H., ... Thomas, B. (2021). Addressing the challenges of climate-driven community-led resettlement and site expansion: knowledge sharing, storytelling, healing, and collaborative coalition building. *Springer*.

[253] Meléndez, K., & Saltzman, B. (2021). Puerto Ricans One Year After Hurricane Maria: Secondary Analysis of Factors Affecting Stress Due to Hurricane Effects. *Environmental Justice, 14*(1).

aminorar la carga de salud mental y asegurar y facilitar el acceso a los servicios de salud mental luego de desastres naturales. En Puerto Rico puede haber ocurrido un aumento en ciertos impactos adversos a la salud como es el síndrome de estrés postraumático, defectos congénitos, autismo o cáncer que tengan una etiología (o conjunto de causas) ambiental[254]. Los trabajos de facilitadores y psicólogos sociales comprometidos con la justicia climática pueden tener un rol clave en fortalecer los esfuerzos de transformación comunitarios posdesastres[255].

## 4.6. Agricultura y ganadería

La agricultura global ha logrado producir suficientes calorías, proteínas y nutrientes para cumplir la demanda de sobre 8,000 millones de personas. No obstante, todavía hay una proporción considerable de la población que sufre inseguridad alimentaria y malnutrición. En los próximos años, el sector agrícola será responsable de cumplir con la triple carga de proveer seguridad alimentaria y nutricional a una población en crecimiento continuo, lograr estilos de vida razonable para los millones que dependen de la agricultura y mejorar la sostenibilidad ambiental.

Los sistemas agrícolas a nivel global y local han contribuido al cambio climático mediante la emisión de GEI por la conversión de sistemas naturales (cambio en el uso de las tierras), niveles y tipos de insumos usados y alteraciones al suelo. A la vez, el sector agrícola es uno de los que más se afectará por el incremento en las temperaturas, los eventos extremos de sequía y precipitación, cambios en patrones de precipitación y otros factores asociados al cambio climático.

Las tendencias en los indicadores agrícolas en Puerto Rico sugieren que el sector agrícola es muy vulnerable a las perturbaciones y tensiones provocadas por el clima y las políticas institucionales locales; el cambio climático es un agravante. Aunque el sector agrícola en Puerto Rico no aporta cantidades significativas –2.7 % o 0.95 millones de toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (Mt $CO_2e$)– de la totalidad de emisiones antropogénicas de GEI del país, este puede contribuir a mitigar el cambio climático mediante la reducción en las emisiones de GEI por animales y el manejo del estiércol, prácticas agrícolas que reduzcan la erosión y devuelvan carbono (C) al suelo, y que se minimice la pérdida de nutrientes, especialmente nitrógeno.

La extrapolación de trabajos científicos hechos principalmente en las zonas templadas a Puerto Rico demuestra que, de no tomar acción para mejorar la adaptación y la resiliencia, los rendimientos de los cultivos y animales se van a reducir. Se afectarán las economías de las empresas agrícolas y la competitividad del sector agrícola a nivel local, y se pondrá en más riesgo aún la seguridad y soberanía alimentaria del país. Las prácticas que aumenten la productividad agrícola de forma sostenible, mejoren la resiliencia, reduzcan y remuevan GEI y que aumenten la seguridad alimentaria local

254 Cange & McGaw-Cesaire, 2019.

255 Unanue, I., Patel, S., Trott, C. D., Piazza Rodríguez, A. A., Méndez Serrano, K., Brown, L. M., & Thomas Tormala, T. (2020). “Seeing More Clearly: Communities Transforming Towards Justice in Post-Hurricane Puerto Rico.” *Community Psychology in Global Perspectives, 6*(2/2), 22-47.

serán las mejores estrategias para que el sector agrícola se adapte y supere más rápido los efectos del cambio climático.

### 4.6.1. Estado de la situación de la producción agrícola de Puerto Rico

La conversión de sistemas naturales a agrícolas ha ocurrido a través de la historia y ha sido "necesaria" para sostener una población mundial en crecimiento continuo[256] [257] [258]. La tasa de aumento en la producción de comida ha excedido la de la población, inicialmente por aumentos en la huella agrícola y luego por aumentos en los rendimientos asociados a la tecnología y las prácticas agrícolas modernas[259]. Pero, haber asegurado abastos suficientes de comida ha degradado los ecosistemas y sus funciones, afectando los servicios de los que la humanidad depende[260] [261] [262]. Si bien será necesario aumentar la producción de comida entre un 30 % a 60 % para mantenerse a la par con los cambios demográficos, el cambio climático tiene el potencial de reducir los rendimientos entre un 10 % a 25 % (dependiendo del cultivo y la localización geográfica). Esto hace evidente la necesidad de lograr una seguridad alimentaria tanto en sistemas de comida globales y regionales o locales y de que se haga de forma sostenible[263].

En Puerto Rico, la producción agrícola es importante para mejorar la actividad económica, aumentar los empleos, salvaguardar los abastos de comida durante desastres naturales, amortiguar las fluctuaciones en los abastos de alimentos y precios a nivel global, y para mejorar la salud de los puertorriqueños. Según se resalta en el Informe Económico al Gobernador[264], la importancia de la seguridad alimentaria local no puede desligarse del contexto global. A continuación, se presentan algunos indicadores que ayudan a describir el estado de la situación agrícola en Puerto Rico.

**Población**. Contrario a las tendencias mundiales, la población de Puerto Rico alcanzó su máximo en el 2004 y para el 2022 estaba en descenso con cerca 3.2 millones[265].

---

256 Evans, L.T., 1998. *Feeding the ten billion. Plants and population growth*. Cambridge University Press.

257 Foley, J.A. et al., 2005. "Global consequences of land use." *Science*. 309. 570. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1111772.

258 FAO. 2017. *The future of food and agriculture –Trends and challenges.* Rome. ISBN 978-92-5-109551- 5.

259 Cassman, K.G., Grassini, P. 2020. "A global perspective on sustainable intensification research." *Nature Sustainability.* 3, 262–268. https://doi.org/10.1038/s41893-020-0507-8.

260 Foley, J.A. et al., 2005. "Global consequences of land use." *Science*. 309. 570. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1111772.

261 Godfray, H.C.J. et al., 2010. "Food security: The challenge of feeding 9 billion people." *Science*. 327: 812-818.

262 Benton, C. Bieg, H. Harwatt. 2021. *Food system impacts on biodiversity loss: Three levers for food system transformation in support of nature. Energy, Environment, and Resources Programme*. Chatham House. 75 p.

263 FAO, 2022. *FAO Strategy on Climate Change* 2022–2031. Rome.

264 Junta de Planificación, 2021. Ver el detalle en la sección "Trasfondo Histórico de la Seguridad Alimentaria a Nivel Mundial y Puerto Rico", p. 139-167.

265 IEPR (Instituto de Estadísticas de Puerto Rico). 2023. https://censo.estadisticas.pr/EstimadosPoblacionales.

**Estructura poblacional**. En términos generales, la población mundial es más vieja[266] y está más desconectada de la ruralía (donde se produce la comida) con flujos migratorios hacia las zonas urbanas[267]. La misma tendencia se observa en Puerto Rico, donde para el 2021 la mayoría de la población residía en zonas urbanas, la expectativa de vida era de 78 años[268] y la mediana de edad era de 44.2 años[269]. Las tendencias sugieren que la fuerza trabajadora disponible para los trabajos agrícolas disminuirá y la que quede será de mayor edad. En el período del 2015 al 2021 hubo 16,000 personas menos trabajando en la agricultura, con una reducción anual de 1.3 %[270].

**Densidad poblacional**. Puerto Rico tiene una densidad poblacional cercana a las 340 personas por kilómetro cuadrado. Aunque esta cifra es más de 10 veces el promedio mundial, no es muy distinto a algunos países. La carencia histórica de tierras disponibles para la producción agrícola ha sido ampliamente reconocida y continúa hoy en día. No obstante, los países que comparten densidades poblacionales similares a Puerto Rico pueden ser competitivos mediante productos agrícolas que tengan ventaja económica comparativa para el consumo doméstico y la exportación y mediante la intensificación de la producción agrícola usando alta tecnología[271] [272].

**Área agrícola y número de fincas**. Del 1964 al 2018, el área agrícola en Puerto Rico se redujo consistentemente cada quinquenio, y en el 2018 el inventario era un 70.3 % de las 1,641,042 cuerdas que había en el 1968[273]. En el quinquenio del 2012 al 2018, el área agrícola se redujo 17 % para una pérdida promedio anual de 19,443 cuerdas agrícolas. Para el 2018, Puerto Rico tenía un área agrícola de 487,775 cuerdas[274], distribuidas entre 168,442 cuerdas en cultivos, 81,674 cuerdas cosechadas y 261,206 cuerdas en pasturas[275].

El número de fincas ha decrecido[276] también con 19,951 en el 1998 y 8,230 en el 2018[277]. En el quinquenio del 2012 al 2018 el número de fincas se redujo en 37 %. De continuar las tendencias de pérdida en el número de fincas habrá menos de 4,000 para el 2030[278]. El 73 % de las fincas tienen 49 cuerdas o menos, con 27 % entre 1 y 9 cuerdas y 22.5 % entre 10 a 19 cuerdas. Del 2012 al 2018, el área promedio en fincas

---

266 FAO, 2017.
267 Ídem.
268 Banco Mundial: https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN?locations=PR.
269 Estimados anuales poblacionales de los municipios desde 1950. Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. Disponible en https://censo.estadisticas.pr/.
270 Junta de Planificación, 2021.
271 Vicente-Chandler, J. 1993. Una agricultura para los 90. Monografía preparada para el Secretario de Agricultura de Puerto Rico. 185 p.
272 Cassman y Grassini, 2010.
273 USDA-NASS (*United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service).* 2018. *Census of Agriculture*, Puerto Rico (2018) *Island and Regional Data*. AC-17-A-52.
274 1 ha es 2.47 acres y 2.54 cuerdas.
275 USDA-NASS, 2018.
276 Junta de Planificación, 2021.
277 USDA-NASS, 2018.
278 Junta de Planificación, 2021.

aumentó 33.3 % (estimado en 59.3 cuerdas). Entre los aproximadamente 8,000 operadores de fincas, el 89 % eran hombres y la edad promedio fue de 60 años[279].

La pérdida de área agrícola por factores exógenos (externos) sociales, políticos y económicos es un elemento importante que amenaza la sostenibilidad del sector agrícola de Puerto Rico ante el cambio climático, ya que es la base del recurso natural del cual la industria depende. Entre países homólogos del Caribe, Puerto Rico está sexto en área total. Pero, la proporción de área agrícola es de 22 %, muy por debajo del promedio mundial de países –44 %– y de otros países homólogos y competidores de la zona (por ejemplo, Cuba, Costa Rica, República Dominicana y Jamaica). Sin un inventario adecuado de terrenos agrícolas con precios de arrendamiento y compra accesibles y razonables es muy difícil mantener y revitalizar las empresas agrícolas e iniciar otras.

**Producción agrícola y rendimientos**. Hay información muy escasa para evaluar la productividad agrícola en términos de producción y rendimiento de cosechas y animales en Puerto Rico. Un estudio[280] que describe las tendencias en la producción y en los rendimientos de los cultivos de importancia económica demostró que había una brecha de rendimiento significativa en los cultivos de importancia. Esto sugiere que la producción agrícola en Puerto Rico puede aumentar todavía mediante la intensificación agrícola sostenible[281] [282]. En términos de la producción relativa de comida a nivel local, estimados para los años 2015 al 2017 sugieren que la producción local fue: 10 % para carne de res, 11 % para raíces y tubérculos, entre 5 % y 100 % para algunas hortalizas y sobre 80 % en algunas frutas[283] [284]. Los mejores estimados sugieren que la producción local satisface cerca del 15 % del consumo de comida[285] [286] y el 18 % del consumo calórico[287].

**Valor de la producción**. El sector agrícola en Puerto Rico se puede describir como frágil; contribuye aproximadamente un 0.6 % al producto interno bruto (GDP, por las siglas en inglés). El sector agrícola aporta una porción relativamente pequeña al ingreso familiar con pocas familias dependientes estrictamente del sector y solo el 17 % de los agricultores reciben 75 % o más de su ingreso de la agricultura[288]. En el 2018 en Puerto Rico, aproximadamente 1,000 fincas reportaron $60,000 o más en ventas[289].

---

279 USDA-NASS, 2018.

280 Sotomayor-Ramírez, D., Barragán-Arce, M. J., Lozada-Ramírez, G., & Jaramillo, R. 2013). "Trends in fertilizer consumption in Puerto Rico." *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, *97*(1 2), 15–32. https://doi.org/10.46429/jaupr.v97i1-2.3037.

281 Vicente-Chandler, 1993.

282 Cassman y Grassini, 2020.

283 Sotomayor-Ramírez, sin publicar.

284 Ortiz-Colón, G., S.J. Fain, I.K. Parés, J. Curbelo-Rodríguez, E. Jiménez-Colón, M. Pagán-Morales, W. Gould. "Assessing climate vulnerabilities", 2018. *Climatic Change* 146 (6): 47-58.

285 Comas-Pagán, M., 2009. Vulnerabilidad de las cadenas de suministros, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: El caso de las cadenas de suministros de alimento de Puerto Rico. Disertación presentada para el grado de Doctor en Filosofía en Administración de Empresas, Programa de Comercio Internacional.

286 Junta de Planificación, 2021.

287 Hernández et al., 2017.

288 USDA-NASS, 2018.

289 Kenner, B., D. Russell, C. Valdes, A. Sowell, X. Pham, A. Terán, J. Kaufman. 2023. "Puerto Rico's Agri-

Del 2000 al 2009-2010, el ingreso bruto agrícola (IBA)[290] fluctuó entre $716.1 millones y $789.8 millones[291] y, del 2010 al 2016-2017, fluctuó entre $830.6 millones a $894.5 millones[292]. Los huracanes Irma y María (2017) causaron grandes daños en la agricultura[293], lo que se reflejó en el Censo del 2018[294] con un IBA de $585,000 millones distribuidos igualmente entre cultivos y animales y un ingreso neto de $21 millones. De un IBA de $243 millones atribuido a animales, el 71 % se debe a leche, 15.5 % a carne de res y novillas y 8.3 % a pollos y sus productos. En el renglón de cultivos con un IBA de $242 millones, el 31 % se debió a granos (semillas), 17 % correspondió a plátanos, 14 % a plantas ornamentales, 14 % a hortalizas y vegetales, y 4.7 % se debió a la producción de forrajes. Del 2012 al 2018, todos los grupos de cultivos –excepto los granos producidos en la industria de semillas– sufrieron pérdidas en el IBA de hasta $54 millones en el sector de plátanos; $30 millones en el de café; vegetales y melones, de $23 millones; y frutales y cocos, de $19 millones[295]. Para el 2018, las dos regiones geográficas que más aportaron al IBA fueron Arecibo y Ponce, la primera dedicada principalmente a la producción de leche y sus derivados y la segunda a las hortalizas donde están los mejores suelos, llanos y mecanizables y con infraestructura de riego.

No cabe duda de que los huracanes del 2017 causaron grandes pérdidas en la economía del sector agrícola[296] [297]. Los fenómenos naturales afectaron severamente el inventario de cultivos y animales y la infraestructura agrícola. También, exacerbaron la escasez en la mano de obra necesaria para las actividades agrícolas. Pero, las tendencias históricas en los indicadores económicos agrícolas demuestran que los problemas son de carácter estructural y van más allá de estos fenómenos y del quinquenio 2012 al 2018. La reducción en el área agrícola y su pérdida de competitividad se debe a un complejo entramado de fenómenos naturales extremos y a otros factores de carácter económico, político y social[298].

**Consumo de agua para la agricultura**. El riego suplementario es de vital importancia

---

cultural Economy in the Aftermath of Hurricanes Irma and María: A Brief Overview." *Economic Research Service. Administrative Publication Number 114.* April 2023. 35 p.

290 El valor de producción a nivel de la finca se evalúa basado en el ingreso bruto agrícola (IBA) y no toma en consideración el valor añadido fuera de la finca que puede variar entre 2x y 4x el IBA, ni otros ingresos asociados a la participación en programas de ayuda (que pueden fluctuar entre un 10 a 20% del IBA).

291 Datos tomados del Ingreso Bruto Agrícola reportado por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico y presentado por el Instituto de Estadísticas PR en su portal Ingreso Bruto Agrícola. Disponible en: https://estadisticas.pr/en/inventario-de-estadisticas/ingreso-bruto-agricola.

292 Datos tomados del Ingreso Bruto Agrícola reportado por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico y presentado por el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico en su portal Ingreso Bruto Agrícola, disponible en hoja de cálculo para los años 2010 al 2017. Disponible en: https://estadisticas.pr/en/inventario-de-estadisticas/ingreso-bruto-agricola.

293 Kenner et al., 2023.

294 No se pudo obtener datos más recientes.

295 Kenner et al., 2023.

296 Weiner, S.S. N. Álvarez-Berríos, A.B. Lindsey. 2020. "Opportunities and Challenges for Hurricane Resilience on Agricultural and Forest Land in the U.S. Southeast and Caribbean." *Sustainability 2020*,*12*(4), 1364; https://doi.org/10.3390/su12041364. https://www.mdpi.com/2071- 1050/12/4/1364.

297 Kenner et al., 2023.

298 Hernández et al., 2017.

para lograr las metas de producción y la seguridad alimentaria de muchos países[299]. Se prevé que el cambio climático en el Caribe y Puerto Rico provocará variaciones en el ciclo hidrológico, lo que pudiera reducir la disponibilidad del agua en el suelo, aumentar su demanda y agudizar su escasez[300] (véase más en la sección 4.7). Por tal razón, es importante preservar las áreas que han sido dotadas con sistemas de riego.

Los patrones de variaciones temporales y espaciales en la precipitación en Puerto Rico hacen necesario el riego suplementario agrícola para algunas zonas, especialmente la zona sur, donde se encuentran la mayoría de los suelos fértiles, llanos y mecanizables. Para el 2010, se reportó que el sector agrícola utiliza cerca de 38.2 millones de galones diarios (MGD) de agua para cultivos y crianza de animales en cerca de 42,000 acres, lo que representa solo el 5 % del uso consuntivo total del agua[301]. El 41 % del agua proviene de cuerpos superficiales y el 58 % son aguas subterráneas. El área bajo riego está potencialmente entre el 5 % y 9 % del área agrícola total[302] [303]. El 81 % del agua se aplica mediante el sistema de microrriego, lo cual aumenta la eficiencia de uso. Las principales zonas donde se consume el 95 % del agua de riego están en el sur, desde Cabo Rojo a Guayama, incluyendo a 18 municipios. Para el 2010, la gran mayoría del consumo de agua de riego fue para la producción de frutas, vegetales, plátanos y guineos.

A base de la información y datos disponibles, los estimados de demanda de agua agrícola para el futuro en Puerto Rico no están claros. Será necesario identificar las áreas que se desean regar y la infraestructura disponible. También será necesario definir el criterio de riego para llegar a los requisitos de agua considerando cultivos, época del año, características de los suelos y la calidad del agua.

**Consumo de nutrientes en fertilizantes**. El uso de fertilizantes en la agricultura combinado con fitomejoramiento[304], la biotecnología, el riego y la mecanización han sido los responsables por el incremento histórico mundial en la producción agrícola[305]. Para el 2020, el consumo anual mundial de fertilizantes fue de 201 millones de toneladas (M t) de nutrientes distribuidos entre 113, 48 y 30 M t, para nitrógeno (N), óxido de fósforo ($P_2O_5$) y óxido de potasio ($K_2O$)[306]. El nivel de aplicación de fertilizantes promedio fue de 129 kilogramo por hectárea (kg/ha) de nutrientes (N + $P_2O_5$ + $K_2O$) distribuidos entre 73, 31, y

[299] FAO. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma. https://doi.org/10.4060/cb1447es.

[300] NOAA. 2022. Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. NOAA National Centers for Environmental Information. State Climate Summaries 2022. https://statesummaries.ncics.org/chapter/pr/.

[301] Molina-Rivera, W.L. 2014. Estimated water use in Puerto Rico, 2010: *U.S. Geological Survey Open-File Report 2014* –1117, 35 p., http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141117.

[302] El rango corresponde a las proporciones estimadas para el 2012 y el 2018 o entre 26,993 y 53,361 cuerdas. Molina (2010) reporta un área bajo riego de 40,200 acres para el 2010.

[303] USDA-NASS, 2018.

[304] El fitomejoramiento es el arte y la ciencia de mejorar genéticamente las plantas en beneficio de la humanidad. Los mejoradores obtienen nuevas variedades no solo para los alimentos, los piensos y las fibras, sino también para los combustibles. Fuente: https://www.fao.org/3/at910s/at910s.pdf

[305] Erisman et al., 2008.

[306] FAOSTAT, 2023. *Food and Agriculture and Organization*, *Statistical Division*. Disponible en: https://www.fao.org/faostat/en/#home.

25 kg/ha, para N, $P_2O_5$, y $K_2O$[307]. De todas las entradas (deposición atmosférica, estiércol, fijación biológica y fertilizante) de N a los sistemas agrícolas, el 54 % no se contabiliza en el rendimiento de cultivos por lo que se queda en el suelo o se pierde en el ambiente (lixiviación, escorrentía, desnitrificación, volatilización), con potencial de impactar la calidad del agua, el aire y los ecosistemas naturales[308]. El balance mundial entre las entradas por fertilizante, estiércol y otros y la remoción por cosechas demuestra que hay un superávit anual de N de 95 M t y de $P_2O_5$ de 13.5 M t[309] [310].

Para Puerto Rico se ha reportado[311] un nivel de consumo de nutrientes en forma de fertilizantes de 88 kg/ha. El estimado para el 2020 fue de 40 kg/ha o una disminución de 57%. Los estimados de Puerto Rico están muy por debajo del promedio mundial, pero un poco más altos que el resto del Caribe. Los estimados de consumo de nutrientes parecen ser razonables considerando el área agrícola y la brecha de rendimiento observada.

**Pérdida y desperdicio de alimentos**. La pérdida y el desperdicio de alimentos están asociados a una disminución en la calidad y cantidad de alimentos. Se estima que un 30 % de la comida producida se pierde o se desperdicia[312], lo que puede ocurrir en los puntos de producción, consumo o en la cadena alimentaria. Esto tiene un impacto en el consumo de energía y en la emisión de GEI. Por ejemplo, se estima que el 8 % de las emisiones totales de GEI se deben a la pérdida y al desperdicio de comida[313] [314]. No se pudo conseguir estimados de pérdida y desperdicio de alimentos en Puerto Rico, pero existe conciencia sobre la importancia de reducirlos[315].

**Demanda en la producción de alimentos (calorías y proteínas) e inseguridad alimentaria**. El consumo diario per cápita de calorías y proteínas ha aumentado consistentemente desde el 1961 al presente con 2,950 kilocalorías y 80 gramos en el período 2018-2020[316]. En el futuro, se prevé mayor cambio en las dietas de países con mayor poder adquisitivo y se espera mayor consumo de carnes y mayor demanda de granos para la producción de carne. Esto pondrá más presión en los recursos de tierra disponibles.

A nivel mundial, la obesidad entre adultos aumentó entre 2000 y 2016, con un promedio de 13.1 % de la población, pero en algunas regiones (Norte América y Europa) la obe-

---

307 Ídem.

308 Follet, J.R., R.F. Follet, W.C. Herz. 2010. "Environmental and human impacts of reactive nitrogen." P. 1-37. En J.A. Delgado y R. Follet (editores). *Soil and Water Conservation Society*. Ankeny, IA.

309 Zhang, X., Davidson, E. A., Zou, T., Lassaletta, L., Quan, Z., Li, T., & Zhang, W. (2020). "Quantifying nutrient budgets for sustainable nutrient management." *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2018GB006060. https://doi.org/10.1029/2018GB006060.

310 FAOSTAT, 2023.

311 Sotomayor-Ramírez et al., 2013.

312 FAO, 2017.

313 CCA. 2017. Estudios de caso sobre pérdida y desperdicio de alimentos en América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 66 pp.

314 FAO, 2022.

315 LPRA 13 del 12 enero 2023. Para declarar el día nacional para la conciencia de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Disponible en: https://bvirtualogp.pr.gov/ogp/Bvirtual/leyesreferencia/PDF/13-2023.pdf

316 FAO, 2021. *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021*. Rome. https://www.fao.org/3/cb4477en/cb4477en.pdf.

sidad puede llegar a 28 %, seguido por Latinoamérica y el Caribe. En Puerto Rico, el 68.4% de la población adulta es obesa o sobrepeso. Cerca de un 10 % de los jóvenes de 18 a 24 años y 2 % de los adultos mayores de 65 años se encuentran bajo peso, principalmente por una alimentación inadecuada, lo cual es más alta que en Estados Unidos[317]. La producción de frutas y de hortalizas y legumbres aportaron menos de 1 % de la demanda calórica (ajustado por edad). En Puerto Rico se consume menos de la ración recomendada de frutas y vegetales y se estima que un 34 % de las calorías consumidas son de alimentos y bebidas con alto contenido de grasa o azúcar[318].

**Hambruna y desnutrición**. A pesar de los avances en abastos de comida y en la capacidad de suplir calorías y proteínas, todavía hay grandes brechas en términos de cantidad (incremento poblacional y poder adquisitivo), calidad de comida y productos agrícolas[319]. En ese contexto, para el 2020, entre 720 y 811 millones de personas estaban severamente malnutridas y sufriendo hambruna, 2,370 millones de personas tienen inseguridad alimentaria moderada o severa y 928 millones de personas sufrían inseguridad alimentaria severa[320]. En Puerto Rico, el 33.2 % de la población de 18 años o más presentó algún nivel de inseguridad alimentaria y el 21.7 % de las personas indicaron que en los últimos 12 meses hubo ocasiones en las que tuvieron que servirse menos cantidad de alimentos o dejar de comer una de sus comidas diarias[321].

### 4.6.2. El clima y el efecto del cambio climático sobre la agricultura

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha desarrollado más de 50 indicadores de cambio climático que se agrupan en seis categorías[322]. El Departamento de Agricultura federal (USDA) ha desarrollado 20 indicadores de cambio climático que proveen información relevante a los sistemas de producción agrícola en Estados Unidos[323].

El IPCC[324] ha identificado 35 indicadores denominados impulsores de cambio climático (*climate impact drivers*, CID por sus siglas en inglés). Algunos, si no muchos de los

317 Hernández et al., 2017.
318 Ídem.
319 FAO-IFAD-UNICEF-WFP-WHO, 2021.
320 FAO, 2021.
321 Santiago-Torres, M., Román-Meléndez, E.M., Rodríguez-Ayuso, I. R., Ríos-Vázquez, Z. 2019. Seguridad alimentaria en Puerto Rico. Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. https://estadisticas.pr/files/Comunicados/Seguridad%20Alimentaria%20en%20Puerto%20Rico%20-%20Final%20%28300519%29.pdf.
322 https://www.epa.gov/climate-indicators/view-indicators. Los indicadores se agrupan según las categorías: (i) gases efecto invernadero; (ii) el tiempo y el clima; (iii) océanos; (iv) nieve y hielo; (v) salud y sociedad; (vi) ecosistemas.
323 Walsh, M. K., P. Backlund, L. Buja, A. DeGaetano, R. Melnick, L. Prokopy, E. Takle, D. Todey, L. Ziska. 2020. Climate Indicators for Agriculture. USDA Technical Bulletin 1953. Washington, DC. 70 p.
324 IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3−32, doi: 10.1017/9781009157896.001.

indicadores, puede que no sean relevantes o no sean aplicables a las condiciones de Puerto Rico, debido a que no son medidos o no se han documentado y reportado[325]. Por lo general, los indicadores de cambio climático reportados más comúnmente para Puerto Rico se agrupan en cinco categorías: (i) temperatura; (ii) precipitación; (iii) fenómenos climáticos naturales; (iv) incremento en $CO_2$ atmosférico; y (v) incremento en el nivel del mar. En el capítulo 3 se resumen las tendencias históricas y predicciones de indicadores climáticos en Puerto Rico, entre los más importantes: temperaturas, lluvia, alza en el nivel del mar y concentraciones de GEI.

El desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos responderán de forma diversa a los aumentos en las temperaturas, los cambios en los patrones de lluvia, el aumento en las concentraciones de $CO_2$, mayor frecuencia de eventos extremos, presiones de plagas y patógenos[326] [327]. Los efectos del cambio climático sobre los suelos, cosechas y animales se han estudiado mediante una combinación de ensayos empíricos y modelos de crecimiento de cosechas y modelos de clima. Los resultados varían según las zonas geográficas, escenarios que se evalúan y las interacciones entre los factores. Las variables climáticas afectarán en grados y formas distintas la gran variedad de cultivos y tipos de animales. La Tabla 12 resume en términos generales cómo los indicadores de algún factor climático afectan las cosechas y animales.

**Tabla 12.**

*Indicadores de algún factor climático y su efecto sobre la agricultura*

| Factor climático | Posibles implicaciones para la agricultura |
|---|---|
| Temperaturas más cálidas | 1. Alteración de las estaciones del año.<br>2. Estrés de calor para los cultivos y animales.<br>3. Reducción de la calidad y el rendimiento de los cultivos y animales.<br>4. Estrés por calor para los trabajadores agrícolas (impacto en la salud).<br>5. Aumento en la evapotranspiración de los sistemas suelo-cultivo.<br>6. Cambios en las poblaciones y el rango de distribución de insectos y otras plagas.<br>7. Alteración en los patrones de fruto e inflorescencia.<br>8. Cambios en la biodiversidad de especies de pasturas naturales.<br>9. Reducción en la salud del suelo (asociado a población y diversidad de microorganismos del suelo).<br>10. Aumento de costos del enfriamiento de estructuras.<br>11. Desplazamiento de zonas ecológicas.<br>12. Mayor riesgo de enfermedades para animales. |

[325] Los 35 indicadores CID están agrupados en siete tipos (o categorías): (i) calor y frío; (ii) mojado y seco; (iii) viento; (iv) nieve y hielo; (v) costa; (vi) océano y (vii) otros.

[326] Soares, D.; Paço, T.A.; Rolim, J. "Assessing Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements under Mediterranean Conditions - A Review of the Methodological Approaches Focusing on Maize Crop." *Agronomy* 2023, 13, 117. https://doi.org/10.3390/agronomy13010117.

[327] Tubiello, F.N, J.F. Soussana, S.M. Howden. 2007. "Crop and pasture response to climate change." *PNAS*, *104*(50), 19686-19690. https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104.

| Factor climático | Posibles implicaciones para la agricultura |
|---|---|
| Menor precipitación y mayor evaporación (dependiente de la región) | 1. Menor humedad del suelo, causando estrés hídrico en cultivos que se producen en secano (la tierra agrícola que no tiene riego, sino solo recibe agua de lluvia).<br>2. Mayor dependencia de riego y mayor estrés sobre los recursos hídricos.<br>3. Disminución en la disponibilidad de agua de riego.<br>4. Degradación de suelos (desertificación y salinización).<br>5. Pérdida de cosechas (especialmente pasturas) por fuegos.<br>6. Amenaza a la infraestructura por riesgo de incendios en pasturas y bosques.<br>7. Menor recarga de ríos y embalses que pueden servir para abastos de agua de riego.<br>8. Menor recarga de acuíferos e intrusión salina.<br>9. Cambios en la diversidad y dominancia de especies. |
| Mayor frecuencia e intensidad de tormentas extremas | 1. Inundación de terrenos agrícolas.<br>2. Riesgos o daños a la infraestructura de almacenes, oficinas, umbráculos (sitios cubiertos para resguardar del sol a las plantas).<br>3. Mayor escorrentía.<br>4. Mayores tasas de erosión.<br>5. Mayor riesgo de enfermedades en animales.<br>6. Interrupción de la actividad agrícola.<br>7. Reducción de los abastos de agua.<br>8. Pérdida en la producción agrícola asociada a daños por inundación de cosechas.<br>9. Mayor costo de seguros o pérdida de cubiertas. |
| Aumento en la frecuencia de lluvias fuertes | 1. Alteración de la estacionalidad.<br>2. Aumento de la erosión.<br>3. Aumento de la escorrentía.<br>4. Reducción de la fertilidad del suelo.<br>5. Mayores costos para establecer prácticas de conservación. |
| Aumento en el nivel del mar | 1. Intrusión salina en los acuíferos que sirven de abastos de agua.<br>2. Pérdida de áreas agrícolas cerca de las costas. |
| Incremento del $CO_2$ atmosférico | 1. Aumento o reducción del rendimiento de algunos cultivos. |
| Fuegos más frecuentes en bosques y pasturas | 1. Pérdida de cosechas, especialmente forrajes.<br>2. Mayor riesgo de erosión.<br>3. Pérdida de C en suelos.<br>4. Emisiones de GEI ($CO_2$). |
| Degradación de suelos | 1. Cambios en los requerimientos de riego.<br>2. Cambios en la humedad de los suelos.<br>3. Erosión.<br>4. Salinidad.<br>5. Reducción en la fertilidad del suelo por mayor pérdida de nutrientes (vía lixiviación, desnitrificación, volatilización y escorrentía).<br>6. Cambios en la salud del suelo (respiración, diversidad y actividad microbiana). |

**El clima afecta la producción de cosechas**. Los cambios de temperatura se pueden manifestar mediante el incremento en la temperatura promedio anual, temperaturas diarias y nocturnas y número de días con temperaturas por encima de un valor umbral. Los efectos de las temperaturas pueden variar por regiones. Algunos cultivos en zonas templadas pueden responder de forma positiva al aumento en temperatura[328], con un impacto más negativo en latitudes más bajas. En términos generales, bajo un escenario de incremento de temperaturas se espera una reducción en el rendimiento de las cosechas de entre 10 % a 25 % para el 2050[329]. Puerto Rico cuenta con una gran variedad de cultivos hortícolas y agronómicos que se producen bajo varios regímenes de clima y una gran variedad de suelos.

El aumento en la temperatura del aire tiene un efecto sobre el desarrollo fisiológico de los cultivos, incluyendo la fenología, productividad, los requisitos nutricionales y de agua. Los efectos fisiológicos de la temperatura no se deben confundir con la alteración de la temporada de crecimiento, lo cual se espera que sea más larga en latitudes más altas. Los cultivos con ruta fotosintética C3 son más sensitivos que cultivos C4[330] a los aumentos en temperatura promedio del aire, ya que en los primeros aumenta la fotorrespiración reduciendo la tasa fotosintética y reduciendo biomasa vegetal y rendimiento. Se prevé que el aumento en la temperatura del aire acelerará las tasas de desarrollo fenológico y las tasas de transpiración y acortará las etapas de crecimiento de las cosechas. El incremento en las tasas de transpiración tiene un efecto sobre el contenido de humedad del suelo y su demanda por el cultivo. En otros casos el incremento de la temperatura puede tener un efecto negativo en el número de horas frías para lograr la germinación o florecida prolongando el ciclo de crecimiento. El número de días que un cultivo se expone a temperaturas umbrales (nocturnas y diurnas) en etapas críticas de crecimiento como, por ejemplo, florecida, fructificación y llenado de grano, reducen los rendimientos de los cultivos y su calidad. Otros efectos indirectos del aumento en las temperaturas se asocian a mayor incidencia de plagas, yerbajos, y patógenos[331]. Los cultivos anuales pueden afectarse más que los perennes[332]. Se prevé que la mayoría, si no todos, los cultivos y sistemas de producción en Puerto Rico son vulnerables a los aumentos esperados en la temperatura.

---

328 Farooq, A., N. Farooq, H. Akbar, Z.U. Hassan, S.H. Gheewala. 2023. "A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production." *Agronomy* 2023, *13*(1), 162. https://doi.org/10.3390/agronomy13010162.

329 Zhao, C., B. Liu, S. Asseng. 2017. "Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates." *PNAS*. *114*(35), 9326-9331. https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114.

330 Ejemplos de cultivos C3 son algodón, arroz, trigo, cebada, soja, papa, leguminosa y se caracterizan porque se produce una molécula de tres carbonos como primer paso en la ruta fotosintética. Ejemplos de cultivos C4 son maíz, sorgo, caña de azúcar y el producto fotosintético es una molécula de cuatro carbonos.

331 *Science Daily*, 2008. *University of Illinois at Urbana-Champaign.* "Insects Take a Bigger Bite Out Of Plants In A Higher Carbon Dioxide World.*"* March 25, 2008. Disponible en: https://www.sciencedaily.com/releases/2008/03/080324173612.htm; *Science Daily*, 2011. *Purdue University.* "Climate change allows invasive weed to outcompete local species." 1 June 2011. Disponible en: https://www.sciencedaily. com/releases/2011/05/110531155351.htm; y *Science Daily*, 2018. *USDA/Agricultural Research Service.* "Elevated Carbon Dioxide Boosts Invasive Nutsedge Plants." *1 July 2008*. Disponible en: https://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080629074053.htm.

332 Soares et al., 2022.

Por otro lado, los cambios en la precipitación se pueden manifestar mediante el promedio diario a anual, la intensidad, el número de días con o sin lluvia, el número de eventos de precipitación y la combinación de estos. Los cambios (incremento) en la duración e intensidad de las lluvias aumentan la humedad del suelo con el potencial de afectar la magnitud y grado de la erosión y aumentar la magnitud de las inundaciones de terrenos y los días de encharcamiento de agua[333]. Un aumento en el número de días sin lluvia reduce la disponibilidad de agua para cultivos que no tienen riego afectando sus rendimientos. El balance entre la precipitación y evapotranspiración afectará el almacenaje de agua en suelo[334] [335]. En áreas con estrés hídrico habrá mayor presión sobre los recursos de riego, principalmente en la zona sur de Puerto Rico. La mayoría de la producción agrícola en Puerto Rico se da en secano (áreas sin riego). Las condiciones de sequía pueden provocar rápidamente reducción en la humedad del suelo, estrés hídrico en la planta y reducción en la magnitud y calidad del rendimiento. Los cultivos permanentes de la montaña como frutales y café podrían ser especialmente vulnerables al estrés hídrico. La tendencia hacia menor precipitación en la región del Caribe y Puerto Rico puede afectar todos los cultivos y sistemas de producción. Bajo condiciones de sequía, los cultivos pueden ser más susceptibles a la incidencia de presión de plagas, provocando mayor dependencia en el uso de plaguicidas sintéticos.

Los efectos principales de las concentraciones elevadas de $CO_2$ en los cultivos son una reducción en la transpiración y conductancia (o corriente continua) estomática[336] y, por ende, una mejoría en la eficiencia de uso del agua. Esto resulta en una mayor tasa fotosintética que promueve mayor biomasa y rendimiento de cultivos[337]. La fertilización con $CO_2$ beneficia más a los cultivos C3 que a los C4, debido a que los cultivos del segundo grupo se saturan con $CO_2$ a menor concentración[338]. El beneficio del $CO_2$ sobre los cultivos es mayor cuando hay suficiente N disponible[339]. Los efectos positivos de concentraciones elevadas de $CO_2$ sobre la productividad primaria podrán ser contrarrestados por otros factores tales como competencia por plagas, limitación de nutrientes y el aumento en la temperatura[340].

Los efectos de la interacción de aumentos en la temperatura y el $CO_2$ atmosférico con los cambios en la humedad del suelo son difíciles de predecir y las publicaciones científicas

---

333 Lal, R. 2021. “Climate change and agriculture.” Chapter 31. In *Climate Change*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; pp. 661–686.

334 Kirkham, M.B. 2011. “Water Dynamics in Soils.” P. 53-65. En J.L. Hatfield y T.J. Sauer (Editores). *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

335 Hatfield, J.L. 2011. “Soil Management for Increasing Water Use Efficiency in Field Crops under Changing Climates.” P. 161-174. En J.L. Hatfield y T.J. Sauer (Editores). *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.

336 Relativa al estoma, definido por el *Diccionario de la lengua española* de la RAE como una abertura microscópica en la epidermis de las partes verdes de los vegetales superiores que permite el intercambio de gases y líquidos con el exterior.

337 Tubiello et al., 2007.

338 Hatfield et al., 2011.

339 Izaurralde, R.C., A.M. Thomson, J.A. Morgan, P.A. Fay, H.W. Polley, J.L. Hatfield. 2011. “Climate impacts on agriculture: Implications for forage and rangeland production.” *Agron. J.* 103:371–381.

340 Hatfield et al., 2011.

en el tema siguen aumentando. La mejor variable para describir ese efecto combinado es en la eficiencia del uso del agua (EUA). Por ejemplo, la EUA mejora con el aumento de $CO_2$ hasta que la temperatura del aire excede el valor umbral del cultivo y luego la EUA disminuye; el efecto es más marcado en plantas C3 que en las C4. El aumento en evapotranspiración anual por temperatura resultaría en déficit hídrico en cultivos y pérdidas económicas, a menos que este fenómeno se cancele por incrementos en precipitación o disponibilidad de riego y aumento en las concentraciones de CO[341].

**El clima afecta los suelos**. Cambios en la humedad y temperatura del suelo modifican las propiedades del suelo, especialmente aquellas asociadas a la biología. El aumento en la temperatura del suelo aumenta la actividad microbiana acelerando las tasas de oxidación de la materia y residuos orgánicos. Niveles altos de materia orgánica en suelo con buena actividad y diversidad microbiana resulta en suelos más saludables y resilientes, especialmente con relación a patógenos y plagas. Cambios en la actividad y diversidad microbiana también alteran los patrones regulares de reciclaje de C y de nutrientes (especialmente N). Aumentos en la precipitación media anual, eventos de lluvia extrema, o en la duración de la precipitación pueden aumentar la erosión del suelo con pérdidas asociadas de carbono y nutrientes[342]. El incremento en la humedad del suelo aumenta la proporción de poros ocupados por agua, modificando las emisiones de GEI, principalmente a través del aumento de emisiones de óxido nitroso ($N_2O$) y metano ($CH_4$) o reduciendo las tasas de oxidación de $CH_4$. La combinación del aumento de temperaturas y la reducción de la lluvia acelera la descomposición de la materia orgánica del suelo reduciendo el almacenaje de C en suelo y reduciendo la capacidad de los suelos para secuestrar C. Suelos con menos materia orgánica retienen menos humedad. Esto influye negativamente en la resiliencia del suelo a los efectos de las lluvias extremas y sequías.

El aumento de períodos prolongados de sequía en zonas sin riego suplementario puede reducir la disponibilidad de agua para cultivos y sus rendimientos. Bajo un escenario de menos lluvia media anual y más eventos de sequía se pueden esperar cambios en los recursos hídricos incluyendo la magnitud de los flujos en los ríos y la reducción en el almacenaje de agua en embalses, menos recarga de acuíferos y mayor salinización de los suelos. Modificaciones en temperatura y humedad pueden afectar la incidencia de plagas (enfermedades asociadas a hongos, bacterias y virus) de forma muy incierta e imperceptible. Los períodos de sequía pueden afectar la incidencia de fuegos en pasturas y en bosques. Los cambios de temperatura pueden provocar nuevas condiciones ecológicas asociadas al desplazamiento de las zonas climáticas. La forma en que los suelos del trópico responden a los distintos escenarios del cambio climático es posiblemente distinta a las respuestas de los suelos en zonas templadas y puede ser muy incierta.

**El clima afecta a los animales**. Hay consenso en que los indicadores de cambio climático tales como estrés de calor y sequía han afectado las actividades pecuarias de producción de carne y leche en Puerto Rico[343]. Los animales se pueden afectar en forma directa o indirecta por los efectos del cambio climático. En Puerto Rico, los animales usados para producir carne y leche han sido introducidos generalmente de zonas templadas y

[341] Hatfield et al., 2011
[342] Lal, 2021.
[343] Álvarez-Berríos et al., 2018 y Ortiz-Colón et al., 2018.

tienen una adaptación limitada para sostener su productividad potencial en los climas del trópico. Por tal razón, los animales son vulnerables a episodios transitorios y prolongados de estrés crónico de calor con una reducción en la producción de carne[344] o leche[345]. El efecto del estrés se puede manifestar mediante un incremento en la temperatura corporal, el potencial de reproducción, el aumento en la edad al parto, edad al preñarse y en el peso vivo al parto[346]. El estrés de calor se puede manifestar también en indicadores de bienestar animal tales como higiene, cojera, estrés social, mastitis y su nutrición[347]. El calentamiento excesivo reduce la capacidad de las vacas de producir leche y disminuye las tasas de preñez. El alza en la temperatura puede aumentar los costos de enfriamiento de los establos y aumentar los costos de producción por la necesidad de aplicar prácticas de conservación (como, por ejemplo, techos en campos y árboles para sombra).

En términos indirectos, las temperaturas altas aumentan la proliferación y sobrevivencia de los parásitos y patógenos[348] [349]. Los efectos de sequías frecuentes y prolongadas afectan la productividad de las pasturas y otros cultivos producidos como alimento, reduciendo la disponibilidad de alimentos y aumentando la dependencia de granos importados. Las sequías hacen a las pasturas susceptibles a fuegos con pérdidas económicas grandes e inmediatas. En las áreas de pastoreo, el exceso en el pastoreo provoca disminución en la calidad y hace a los suelos más susceptibles a la erosión.

### 4.6.3. Emisiones de GEI y el rol de la agricultura

**Aportación de la agricultura a las emisiones totales de GEI: Contexto global**. La interpretación de los estimados de las emisiones de GEI y la proporción emitida por la agricultura y sus sectores pueden ser confusas debido a que varían según las actividades (cultivos y animales) consideradas, las diferencias en las metodologías y los sectores incluidos en los estimados por la FAO o el IPCC (*landuse change* por la FAO *y Agriculture + Landuse change and forestry, LULUCF*[350] por NGHGI)[351]. También, puede haber

[344] Brown-Brandl, T.M. 2018. "Understanding heat stress in beef cattle. Biometeorology and Animal Welfare." *R. Bras. Zooc.* 47. https://doi.org/10.1590/rbz4720160414.
[345] Rood, sin fecha.
[346] Ortiz-Colón et al., 2018.
[347] Nalon, E., B. Contiero, F. Gottardo, G. Cozzi. 2021. "The Welfare of Beef Cattle in the Scientific Literature From 1990 to 2019: A Text Mining Approach." *Front. Vet. Sci*., *11 January 2021 Sec. Animal Behavior and Welfare*. *Volume 7 - 2020* | https://doi.org/10.3389/fvets.2020.588749.
[348] Brown-Brandl, T.M., E.D. Berry, J.E. Wells, T.M. Arthur, J.A. Nienaber. 2008. "The impact of stress level on fecal bacteria and pathogen shedding in feedlot cattle." 2008 ASABE *Annual International Conference*, Providence RI. https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=25044&t=1&redir=&redirType=
[349] Vitali, A., A. Felici, A.M. Lees, G. Giacinti, C. Maresca, U. Bernabucci, J.B. Gaughan, A. Nardone, N. Lacetera. 2020. "Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle." *J. Dairy Sci*. 103.8378-8387. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030220304586.
[350] El sector LULUCF se refiere al uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y de los bosques.
[351] Ver por ejemplo, Tubiello, F.N, M. Salvatore, R.D. Cóndor Golec, A. Ferrara, S. Rossi, R. Biancalani, S. Federici, H. Jacobs, A. Flammini. 2014. "Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks: 1990-2011 Analysis." *FAO Statistical Division Working Paper Series*. ESS/14-02; FAO. 2021A. "The share of agri-food systems in total greenhouse gas emissions: Global, regional, and country trends 1990-2019*." FAOSTAT Analytical Brief 31*. Disponible en: https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf. -*emissions data*; Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl,

diferencias debido a los modelos usados, formas en las cuales los diferentes países reportan los resultados y diferencias en los factores de emisión. Las emisiones de GEI por la agricultura han sido reportados por varios autores[352] [353].

Los estimados agrícolas más recientes y confiables son los reportados por la FAO para el 2019[354]. Las emisiones de GEI de fuentes agrícolas y cambio de uso de tierra (LUC) fueron de 10,717 Mt $CO_2$e de las cuales 7,214 Mt $CO_2$e eran a nivel de finca (de cultivos y animales) y 3,503 Mt $CO_2$e fueron de la conversión de bosques y fuegos en bosques tropicales y suelos orgánicos (Tabla 13).

**Tabla 13.**
*Aportación del sector agrícola a las emisiones de GEI para el 2019 (FAO, 2021).*

| | M t (=10^6 t ) | % del total de emisiones antropogénicas |
|---|---|---|
| Agrícola (finca) | 7,214 | 13.7 |
| Conversión de bosques y fuegos (cambio de uso de tierras (LUC)) | 3,503 | 6.2 |
| Agrícola + LUC | 10,717 | 20.0 |
| Pre y posproducción de alimentos | 5,800 | 11.1 |
| Total | 16,517 | 31.1 |

K., Gütschow, J., Pan, X., Obli-Laryea, G. *et al*., 2021. "Greenhouse Gas Emissions from Food Systems: Building the Evidence Base." *Environmental Research Letters* 16, no. 6. doi.org/10.1088/1748-9326/ac018e - *Policy*; Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L.Verchot, 2019: "Land–climate interactions. In: Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems." [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M, Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. *In press. - emissions data*.

[352] Tubiello et al., 2014; Jia et al., 2019; Tubiello et al., 2021; FAO 2021.

[353] Nabuurs, G-J., R. Mrabet, A. Abu Hatab, M. Bustamante, H. Clark, P. Havlík, J. House, C. Mbow, K.N. Ninan, A. Popp, S. Roe, B. Sohngen, S. Towprayoon, 2022: "Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU)". In *IPCC*, 2022: "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change." Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: https://doi. org/10.1017/9781009157926.009.

[354] FAO, 2021.

**Dióxido de carbono**. El $CO_2$ es el GEI más abundante en la atmósfera y el que mayor aportación relativa tiene a las emisiones totales antropogénicas. En la mayoría de los sistemas de producción de cosechas la contribución neta de $CO_2$ de los suelos es negativo, debido a la productividad primaria vegetal. Las emisiones de $CO_2$ están asociadas principalmente a la conversión de bosques, fuegos forestales, fuegos de suelos orgánicos, drenaje de suelos orgánicos y consumo de energía en la finca.

Los sumideros de $CO_2$ atmosférico están asociados a la fotosíntesis, al almacenaje transitorio en la biomasa vegetal y animal y al almacenaje en la materia orgánica del suelo. Los cultivos fijan C vía fotosíntesis y respiran $CO_2$ a la atmósfera. Cuando el cultivo se cosecha o se quema, se devuelve al suelo parte del C en el residuo. Allí, durante el proceso de oxidación, parte se libera como $CO_2$ y otra se incorpora a la biomasa microbiana y eventualmente a la materia orgánica del suelo. La biomasa microbiana puede catalizar la transformación de C que proviene de las plantas a uno de mayor estabilidad en el suelo como la materia orgánica del suelo a través del secuestro de C. Las tasas anuales de secuestro de C pueden variar entre 100 a 1,000 kg C/ha según la biomasa antecedente, el clima, suelo, y manejo. Las prácticas que aumentan la cantidad de residuo vegetal devuelta al suelo y reducen la oxidación de C son claves para aumentar el C en los suelos. El incremento en el secuestro de C mejora las propiedades del suelo y mitiga las emisiones de $CO_2$ de otras fuentes como la industria y el sector de la energía. Un aumento de C en los suelos sirve para mejorar la capacidad de estos para filtrar el agua, mejorando la eficiencia del uso de nutrientes y mejorando la capacidad adaptiva de los suelos y cultivos para responder al cambio climático.

**Metano**. El $CH_4$ es un gas de corta duración en la atmósfera producido por procesos de oxidación anaeróbica de compuestos orgánicos en los suelos y rumiantes por medio de la acción microbiana. El metano se puede oxidar en los suelos por las bacterias metanotróficas.

Las emisiones globales antropogénicas de metano ($CH_4$) fueron en 2019 el 38.2 % de todas las emisiones agrícolas[355]. Las emisiones de fuentes naturales pueden ser entre 39 % a 42 % de las emisiones totales globales[356]. Cerca de un 20 % del calentamiento global se atribuye al $CH_4$.

Las principales fuentes agrícolas de $CH_4$ incluyen la fermentación entérica por rumiantes domesticados (bovinos, cabros, ovejos), arrozales inundados, descomposición del estiércol animal, la quema de biomasa y el drenaje de humedales. Algunas de estas fuentes emiten también N2O o $CO_2$, y las emisiones de GEI se expresan en equivalentes de $CO_2$, por lo que es difícil atribuir con precisión cuáles son las principales fuentes (únicas) que aportan a las emisiones. Pero, no cabe duda de que la actividad pecuaria de fermentación entérica y el estiércol son las principales fuentes de $CH_4$ a la atmósfera. Las emisiones pueden ser directas por el animal en forma de $CH_4$ o indirectas debido al estiércol depositado mientras los animales pastorean ($CH_4$ y $N_2O$), almacenaje y aplicación de estiércol a suelos ($CH_4$ y $N_2O$).

[355] *World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021*. Rome. https://doi.org/10.4060/cb4477en.
[356] Lal, R. 2021.

**Óxido nitroso**. El $N_2O$ se produce en sistemas anaeróbicos tales como suelos agrícolas, humedales, y plantas de tratamiento de aguas usadas. Las emisiones de $N_2O$ están asociadas principalmente a la presencia de N oxidado (principalmente nitratos), buena disponibilidad de donantes de electrones (carbono orgánico) y anaerobiosos en el suelo. Aunque el $N_2O$ se puede producir por anammox[357], el principal mecanismo para su producción es mediante la desnitrificación. Las emisiones de $N_2O$ están íntimamente relacionadas con el exceso de N aplicado (no utilizado por cultivos y animales) que se mantienen en el suelo en forma oxidada. Las principales fuentes de nitrato al suelo pueden ser estiércol excretado en pasturas, estiércol aplicado a suelos y estiércol manejado, fertilizantes sintéticos y fijación biológica de N.

Las emisiones de $N_2O$ provenientes de actividades agrícolas estuvieron por debajo de las de $CO_2$ y $CH_4$. Pero, la agricultura es el sector que más $N_2O$ aporta al balance global de GEI. El $N_2O$ es un gas de alta persistencia en la atmósfera y mayor capacidad para absorber energía infrarroja.

La aportación relativa de fertilizantes nitrogenados a las emisiones agrícolas a nivel de finca es de 8.3 % y a las emisiones agrícolas totales es de 5.6 %. Las emisiones de $N_2O$ restantes se atribuyen al cultivo de suelos orgánicos y a la excreta animal. Es difícil precisar la aportación animal de $N_2O$, ya que se obtienen estimados distintos según la metodología[358], pero debe estar entre 9 % y 11 % de las emisiones agrícolas a nivel de finca y entre 6 % y 7 % de las emisiones agrícolas totales. De las emisiones de $N_2O$ estimadas, cerca de un 36 % provienen de actividades pecuarias y 27 % provienen de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

Los factores agrícolas más relevantes que pueden impactar la aportación de $N_2O$ a la atmósfera son el fertilizante nitrogenado, la labranza, el uso de cobertoras y manejo de fuentes orgánicas como el estiércol. El N disponible para pérdida en el sistema agrícola es el resultado neto de entradas por fertilizante, estiércol, fijación biológica de N y la remoción del N en las cosechas. Conforme aumenta el exceso de N en el suelo se reduce la eficiencia de utilización y el potencial de emisiones de $N_2O$ aumenta[359]. La eficiencia de utilización de N histórica ha mejorado en países industrializados, pero no en países en desarrollo[360]. Dado que la tasa anual de consumo de fertilizante continúa en cerca de 1.12 % y que las emisiones de $N_2O$ aumentan con la fertilización nitrogenada, es importante mejorar la eficiencia de utilización de fertilizante nitrogenado.

La inclusión de leguminosas en rotación o como cobertoras pueden afectar las emisiones de $N_2O$ en formas distintas. Las leguminosas pueden aportar a sistemas de producción ambientalmente amigables y sostenibles. Por un lado, las leguminosas tienen la capa-

[357] Tecnología de oxidación anaeróbica de amonio para la eliminación de nitrógeno de aguas residuales. Véase más en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323911801000090.

[358] El $N_2O$ proveniente de actividad pecuaria se puede estimar basado en: $N_2O$ agrícola (2,130.5 $CO_2e$) – [fertilizante-N (600.5 $CO_2e$) + suelo orgánico (832.9 CO2e)] = 697 $CO_2e$; La aportación de estiércol en pastura es de 763.5 $CO_2e$.

[359] Lassaleta et al., 2014. *Environ. Res. Letters*. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/10/105011

[360] Lassaletta et al., 2014.

cidad de utilizar el N del suelo, reduciendo el exceso que no utiliza el cultivo comercial. También pueden aportar N al sistema mediante fijación biológica reduciendo la necesidad de fertilización. Mientras se reduce la necesidad de fertilización con N, la descomposición de residuos, la liberación de exudados y nitrificación-desnitrificación del N fijado pueden aumentar las tasas de emisión de $N_2O$[361] .

La agricultura orgánica continúa avanzando en muchas partes del mundo, pero tiene también implicaciones en las emisiones de $N_2O$. Por un lado, el agroecosistema orgánico puede servir de repositorio de múltiples desechos orgánicos que pueden aportar N y otros nutrientes y carbono para el cultivo comercial. Si las fuentes orgánicas se utilizan adecuadamente, usualmente la producción agrícola está limitada por el N y los rendimientos están por debajo de lo óptimo. La aplicación de residuos orgánicos para satisfacer el requisito nutricional de N puede conllevar una sobre aplicación de N resultado en exceso de N en suelo y mayores pérdidas de $N_2O$ a la atmósfera. El consumo de energía en los sistemas de producción de cosechas orgánicos puede ser mayor que en convencionales[362]. El almacenaje, disposición y manejo de fuentes orgánicas, especialmente estiércol animal, puede resultar en mayores pérdidas de $N_2O$ que fertilizantes nitrogenados.

**Aportación de la agricultura a las emisiones totales de GEI: Contexto de Puerto Rico**. El inventario más reciente de emisiones de GEI para Puerto Rico corresponde al 2021 con emisiones totales de 34.3 M t $CO_2e$[363]. El principal contribuyente fue $CO_2$ con un 87 % de las emisiones, seguido por $CH_4$ con 11 % y N2O con 1 %. Para el 2021, la silvicultura aportó 6 % y el sector agrícola 2.7 % de las emisiones. El sector agrícola presentó emisiones de 0.9 M t de las cuales el 67 % se atribuye al ganado por fermentación entérica, un 30 % por el manejo de estiércol y una proporción mínima del manejo de suelos. De los 0.9 M t el 5.8 % se debió al $CO_2$, 70 % al CH4 y 24.3 % al $N_2O$. El sector de la silvicultura fue analizado separado de la agricultura con emisiones de 2.1 % y sumideros de 1.9 % tuvo emisiones netas de 0.1 Mt. Véase más sobre el inventario en la sección 3.3 de este plan.

### 4.6.4. La pesca como un sistema crucial de seguridad alimentaria

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establece que la pesca contribuye significativamente a la seguridad alimentaria, a la lucha contra la pobreza, y el desarrollo y la estabilidad de las comunidades rurales y costeras[364]. Esto es evidente ya que la actividad pesquera, incluyendo la recolección de mariscos, provee la nutrición básica de 3,000 millones de personas y aporta al menos el 50 % de las proteínas animales y de minerales a 400 millones de personas en los países más pobres. En ciertas zonas de los trópicos, con el cambio climático se pronostica un descenso de hasta el 40 % en las capturas previstas para el 2050.

[361] Lal, R. 2021. pp. 661–686.
[362] Lal et al., 2021.
[363] DRNA (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Informe de inventarios 2019 y 2021 de gases efecto invernadero para Puerto Rico. Preparado por *Applied Economics Clinic*. julio 2023. p.156.
[364] Organización de las Naciones Unidas (1995) Código de conducta para la pesca responsable. Disponible en: https://www.fao.org/3/v9878s/v9878s.pdf

La mayor parte de la pesca del Caribe estadounidense se desarrolla en la costa oeste de Puerto Rico. La costa cuenta con una amplia plataforma donde se encuentran grandes bancos de peces que ayudan a que sea la región más activa para la pesca comercial. Por el contrario, la costa norte es la más complicada para la pesca porque posee una plataforma muy estrecha, se caracteriza por mucho viento y fuerte oleaje[365].

Las pesquerías comerciales en Puerto Rico son esencialmente artesanales o de pequeña escala, ya que la mayoría se realiza en el hábitat costero o sobre la plataforma insular. Se estima que hay entre 1,500 y 2,000 pescadores comerciales activos y de 120,000 a 170,000 pescadores recreativos[366]. La edad promedio de estos pescadores comerciales activos en la costa este es de 48 años[367].

Actualmente, en Puerto Rico se pesca solo el 10 % del pescado que se consume. Esto significa que las principales fuentes de aminoácidos y proteínas del mar son importadas en Puerto Rico (~90 %). El Departamento de Agricultura (DA) busca duplicar esta cantidad. De acuerdo con datos del DA, las villas pesqueras mueven alrededor de 2,500,000 libras de pescado y mariscos, lo que representa entre $12 millones y $15 millones al ingreso bruto agrícola[368].

Según un estudio realizado en Puerto Rico con 49 pescadores, trabajadores gubernamentales y personal de organizaciones ambientales, los pescadores estuvieron de acuerdo con que la contaminación terrestre, el cambio climático y la sobrepesca han provocado el descenso de la cantidad de peces que pueden ver y capturar. Los entrevistados atribuyeron también esta merma al creciente número de pescadores que operan sin licencia y los que no cumplen las reglas, como las vedas por temporada. Los pescadores expresaron que ven menos peces y creen que estos están migrando a aguas más profundas como consecuencia de la contaminación y los cambios climáticos que dañan el ecosistema más cercano a la costa[369].

Otro estudio realizado sobre las percepciones y los efectos socioeconómicos del cambio climático en las pesquerías comerciales reveló que después del huracán María se encontró un nuevo enfoque sobre las amenazas y efectos del cambio climático en las pesquerías. Como parte de los resultados se descubrió que los pescadores han estado modificando sus prácticas de pesca desde hace varios años. Esto incluye: a) pescar especies diferentes, b) utilizar múltiples artes de pesca y c) pescar más lejos de la costa. Entre las principales inquietudes que presentan los pescadores se encuentran a nivel socioeconómico: a) la recesión económica, b) las vedas, c) el aumento del precio del

---

365 Binns, H. (2018). *Los pescadores del oeste de Puerto Rico solicitan una mayor participación en el manejo y mejorar esfuerzos de cumplimiento*. Conservación de los océanos del Caribe & U.S. Ocean Conservation. Disponible: https://www.pewtrusts.org/es/research-and-analysis/articles/2018/03/08/west-puerto-rico-fishers-call-for-more-participation-in-management-and-enhanced-enforcement

366 Ídem.

367 Cruz Mejías, C. (1 de marzo de 2020). El aumento de la temperatura del mar hace que los pescadores artesanales de Puerto Rico tengan que luchar por su futuro. *Global Press Journal.* https://globalpressjournal.com/americas/puerto-rico/puerto-ricos-fishers-fight-preserve-trade/es/.

368 WIPR (2022). *Secretario de Agricultura busca aumentar la pesca en Puerto Rico*. Disponible en: https://wipr.pr/secretario-de-agricultura-busca-aumentar-la-pesca-en-puerto-rico/

369 Binns, H. (2018).

combustible, y d) hay menos pescadores comerciales lo cual reduce la presión pesquera sobre los recursos. A nivel ambiental, consideran: a) los vientos cambiantes, b) el aumento de la temperatura del agua, c) especies invasoras, y d) la contaminación, incluida la basura, los aceites, el petróleo y los sedimentos fluviales arrastrados a alta mar por las corrientes[370].

El informe del IPCC demuestra que actualmente urge más que nunca seguir avanzando hasta conseguir que la gestión de la pesca sea sostenible. Las pesquerías sostenibles que están bien gestionadas y que cuentan con sistemas de seguimiento, regulación y gestión son más resilientes y capaces de adaptarse al cambio climático[371].

## 4.7. Agua

El agua es un recurso vital. Es un recurso móvil, limitado (espacial y temporalmente) y de usos múltiples (agricultura, turismo, industria, recreación, necesidades básicas e higiene de las personas, entre otros). Se considera un recurso renovable en calidad y cantidad. Sin embargo, la mala gestión y el cambio climático pueden reducir la cantidad de agua disponible en ciertas regiones.

Puerto Rico ocupa el escalafón número 135 de 182 jurisdicciones estudiadas a nivel mundial con respecto a la disponibilidad de agua dulce por persona, de acuerdo con la

Oficina de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. También es la segunda jurisdicción en América Latina con menos disponibilidad de agua dulce por persona, según el Banco Mundial.

Es de conocimiento público que la capacidad de almacenamiento de la mayoría de los embalses está comprometida seriamente por la sedimentación. La destrucción de 144 millones de árboles por el huracán María empeoró la situación. Entre los problemas que enfrenta el recurso agua están: intrusión de agua salada en los acuíferos, sequía, contaminación de los cuerpos de agua dulce, pérdida por salideros y otras deficiencias de infraestructura. A medida que el nivel del mar siga subiendo, la intrusión de agua de mar a los acuíferos aumentará, reduciendo la disponibilidad del agua subterránea.

La justicia climática y el acceso al agua se relacionan estrechamente, ya que el cambio climático afecta de manera desproporcionada a las comunidades más pobres y vulnerables del mundo, que a menudo tienen acceso limitado a fuentes seguras de agua. La falta de agua potable y de saneamiento adecuado puede agravar también los efectos del cambio climático en estas comunidades más vulnerables. Esto hace que sea aún más importante garantizar el acceso equitativo al agua mediante acciones climáticas justas y efectivas. La gestión sostenible del agua es esencial para abordar los desafíos del cambio climático y construir resiliencia en las comunidades afectadas.

---

370 Seara, T., Pollnac, R. & Jakubowski, K. (2020). *Impacts of natural disasters on subjective vulnerability to climate change: A study of Puerto Rican fishers' perceptions after hurricanes Irma & Maria*. Coastal Management, 48(5), 418-435. https://doi.org/10.1080/08920753.2020.1795969

371 IPCC (2019). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. https://www.ipcc.ch/srocc/

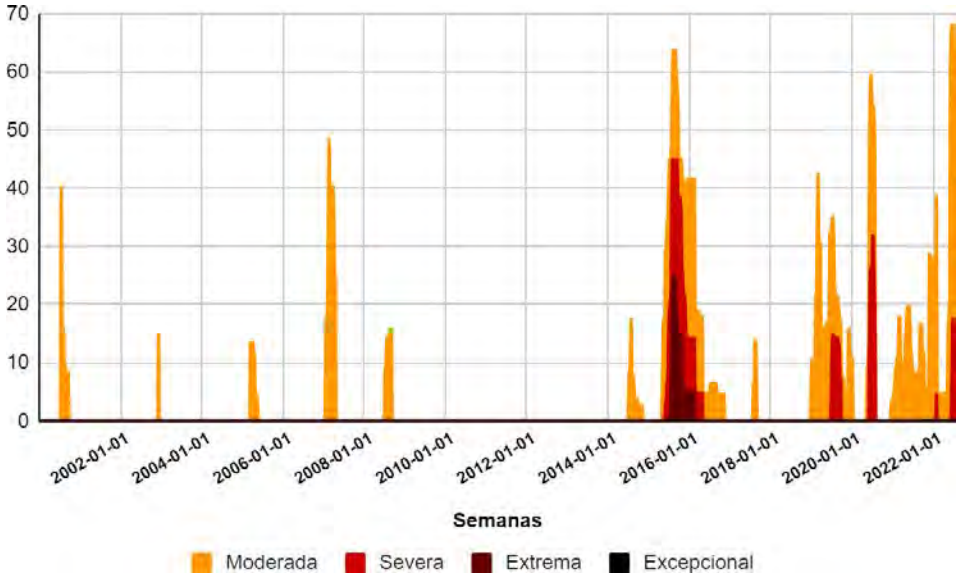
### 4.7.1. Sequías

Puerto Rico tiene un clima tropical lluvioso caracterizado por una temporada lluviosa que va desde mayo hasta noviembre y una temporada seca que va desde diciembre hasta abril. El interior este y el interior oeste son las zonas que reciben mayor precipitación anualmente. El área norte recibe mucha más lluvia que el área sur. La lluvia que se recibe en la temporada lluviosa es mayormente producto de la convección local, el efecto orográfico, ondas y ciclones tropicales. Mientras, la lluvia que se recibe en los meses secos proviene mayormente de frentes fríos y vaguadas[372].

Las teleconexiones como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la Oscilación del Ártico (AO)[373] influyen también en la lluvia anual y temporal en Puerto Rico. En la última década (2013-2022), el país experimentó varios episodios de sequía significativos (Ilustración 41) que disminuyeron la cantidad de agua potable y en algunos casos provocaron el racionamiento del recurso hídrico[374]. El período de sequía más extremo fue el del 2015-2016, pero también los últimos tres años se caracterizaron por ser más secos de lo normal, según el registro de todos los eventos de sequía desde el 2000 hasta el 2022[375].

**Ilustración 41.**

*Áreas bajo sequía moderada, severa, extrema o excepcional en Puerto Rico*




Puerto Rico es una de las zonas del planeta donde los períodos más secos (1994 y 2015) y húmedos (1995 y 2017) de las últimas décadas provocaron, por un lado, racionamiento

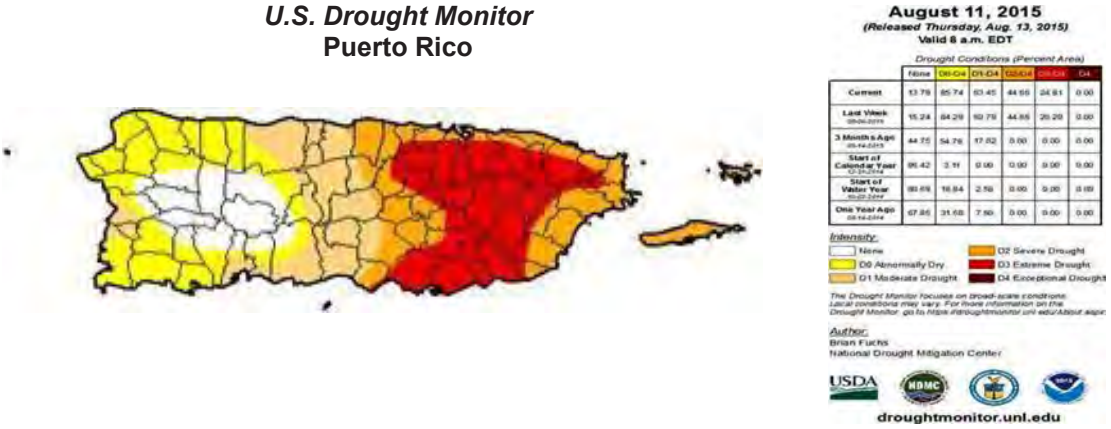
372 Colón-Torres, J. A. (2009). *Climatología de Puerto Rico*. Editorial Universidad de Puerto Rico.
373 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019). "Examining the spatiotemporal characteristics of droughts in the Caribbean using the standardized precipitation index (SPI)." *Climate Research*, *78*(2), 103-116.
374 Ídem.
375 Monitor de Sequía de los Estados Unidos.

de agua y grandes pérdidas agrícolas[376], mientras que, por otro lado, ocurrieron inundaciones extremas y deslizamientos de tierra[377] [378].

En la última década, Puerto Rico experimentó un período de sequía (Ilustración 42) importante (2013-2016) que generó serios desafíos hídricos[379] [380]. En el 2017 y el 2022, ocurrieron acumulaciones de lluvia sin precedentes asociadas con el paso del huracán María y el huracán Fiona, respectivamente, que causaron inundaciones repentinas catastróficas y deslizamientos de tierra[381] [382] [383] [384] [385]. Las proyecciones para el Caribe y Puerto Rico relacionadas con el cambio climático anticipan que esos episodios de sequía y de precipitación extrema serán aún más frecuentes en el futuro.

**Ilustración 42.**

*Semana de más sequía*




Condiciones de sequía para Puerto Rico para la semana del 4 al 11 de agosto de 2015. Esta se considera la semana en que la mayor parte del territorio estuvo en condiciones de sequía para el período del 2000 al 2022.

376 Larsen, M. C. (2000). "Analysis of 20th-century rainfall and streamflow to characterize drought and water resources in Puerto Rico." *Physical Geography*, *21*(6), 494-521.

377 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019).

378 Hernández Ayala, J. J., Keellings, D., Waylen, P. R., & Matyas, C. J. (2017). "Extreme floods and their relationship with tropical cyclones in Puerto Rico." *Hydrological Sciences Journal*, *62*(13), 2103-2119.

379 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019).

380 Herrera, D. A., Ault, T. R., Fasullo, J. T., Coats, S. J., Carrillo, C. M., Cook, B. I., & Williams, A. P. (2018). "Exacerbation of the 2013–2016 pan-Caribbean drought by anthropogenic warming." *Geophysical Research Letters*, *45*(19), 10-619.

381 Ídem.

382 Keellings, D., & Hernández Ayala, J. J. (2019). "Extreme rainfall associated with Hurricane Maria over Puerto Rico and its connections to climate variability and change." *Geophysical Research Letters*, *46*(5), 2964-2973.

383 Ramos-Scharrón, C. E., & Arima, E. (2019). "Hurricane María's precipitation signature in Puerto Rico: A conceivable presage of rains to come." *Scientific reports*, *9*(1), 1-7.

384 Hernández Ayala, J. J., & Méndez-Tejeda, R. (2021). "How much rainfall did Hurricane María really drop in Puerto Rico?" *Weather*, *76*(9), 313-316.

385 Ramos Scharrón, C. E., Hernández Ayala, J. J., Arima, E. Y., & Russell, F. (2023). "Preliminary Analyses of the Hydro-Meteorological Characteristics of Hurricane Fiona in Puerto Rico." *Hydrology*, *10*(2), 40.

Los eventos extremos de lluvia y sequía han causado pérdidas de miles de millones de dólares solo en la última década, por lo que es extremadamente importante determinar si Puerto Rico está experimentando cambios en su climatología de lluvias y si experimentará más de estos eventos extremos en un futuro cercano.

Cuando se trata de cambios en las tendencias de las precipitaciones en Puerto Rico, algunos estudios han detectado una tendencia a la sequía[386] durante la temporada lluviosa (mayo-noviembre). Otros estudios han encontrado tendencias crecientes en la cantidad de días lluviosos y un patrón decreciente en la cantidad de días secos para el área metropolitana de San Juan[387]. Trabajos recientes sobre sequías en el Caribe y Puerto Rico sugieren que más áreas están experimentando sequías severas[388] y que el cambio climático representó ~15-17 % de la severidad de la sequía y ~7 % de su distribución espacial medida[389].

Uno de los estudios más completos sobre las sequías en Puerto Rico encontró que el peor período de sequía fue en 1994, con el 35.08 % de la superficie en sequía extrema y el 60.97 % en condiciones moderada o severamente secas[390]. Aquella sequía disminuyó los niveles de los embalses y llevó a un racionamiento de agua que causó pérdidas agrícolas de $165 millones[391]. También durante el evento de 2015, toda la isla experimentó una sequía moderada o severa, lo que llevó a pérdidas de millones de dólares y a medidas de racionamiento de agua que duraron meses[392]. El estudio concluyó que Puerto Rico experimentó más períodos secos que lluviosos en la época del 1981-2018, siendo la región este la zona que experimentó más episodios de sequía (Ilustración 43).

386 Neelin, J. D., Münnich, M., Su, H., Meyerson, J. E., & Holloway, C. E. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. Proceedings of the National Academy of Sciences, *103*(16), 6110-6115.

387 Méndez-Lázaro, P. A., Nieves-Santiago, A., & Miranda-Bermúdez, J. (2014). “Trends in total rainfall, heavy rain events, and number of dry days in San Juan, Puerto Rico, 1955-2009.” *Ecology and Society*, *19*(2).

388 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019).

389 Herrera, et al (2018).

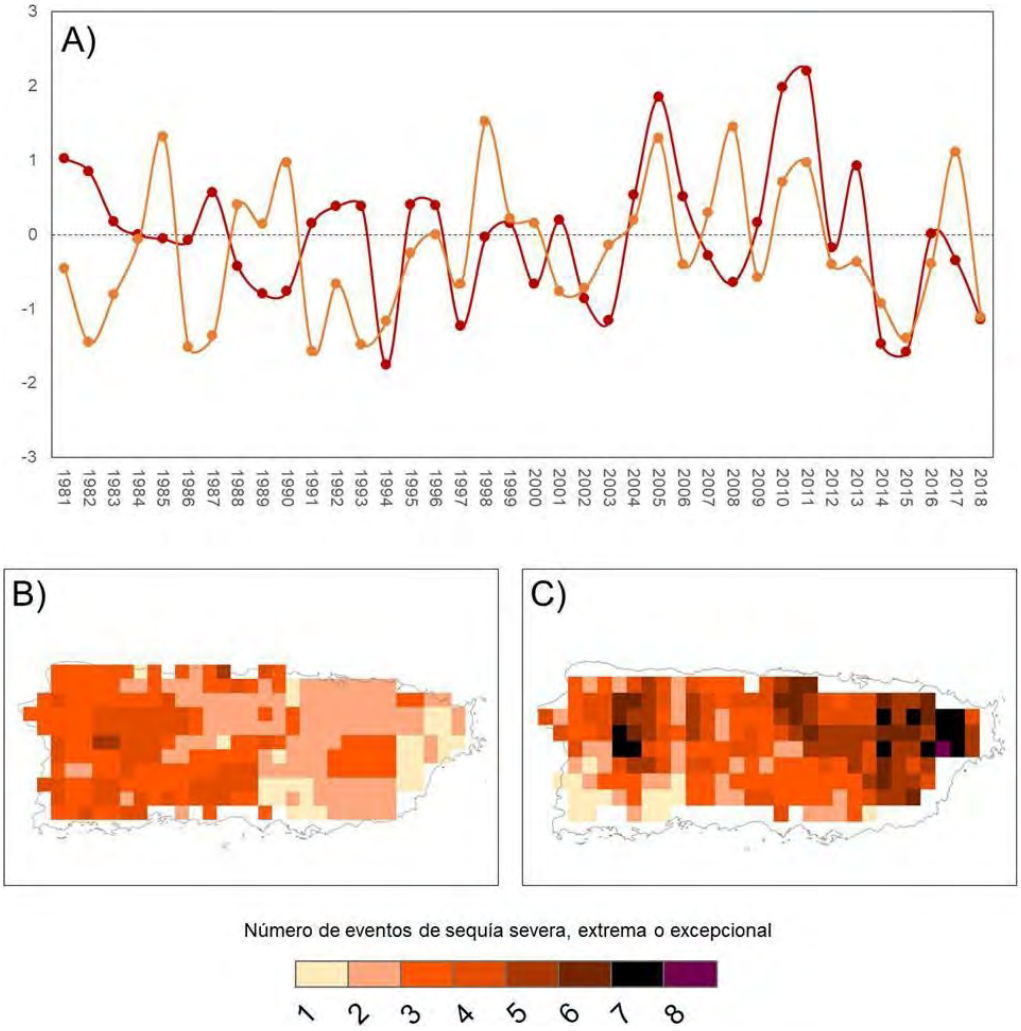
390 Hernández Ayala, J. J., & Heslar, M. (2019).

391 Larsen, M. C. (2000).

392 DRNA, 2016.

**Ilustración 43.**

*Episodios de sequía analizados*




Episodios de sequía examinados utilizando el Índice estándar de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) como método de clasificación de sequía para detectar períodos secos y húmedos (A) en los meses de mayo a julio (línea roja) y los meses de agosto a octubre (línea naranja). Número de eventos de sequía severa, extrema o excepcional para los meses de mayo a julio (B) y los meses de agosto a octubre (C).

De acuerdo con la investigación que se ha realizado sobre la variabilidad de la precipitación en Puerto Rico, está claro que no hay consenso sobre si la precipitación anual, estacional o diaria en general aumenta o disminuye. Algunos estudios sugieren que las precipitaciones sobre Puerto Rico aumentan durante los meses más secos[393]. Otros estudios sugieren que el área de Puerto Rico está experimentando una tendencia a la sequía que se exacerba por el cambio climático inducido por el hombre[394].

[393] Méndez-Lázaro, P. A., Nieves-Santiango, A., & Miranda-Bermúdez, J. (2014).

[394] Bhardwaj, A., Misra, V., Mishra, A., Wootten, A., Boyles, R., Bowden, J. H., & Terando, A. J. (2018). "Downscaling future climate change projections over Puerto Rico using a non-hydrostatic atmospheric model." *Climatic Change*, *147*, 133-147.

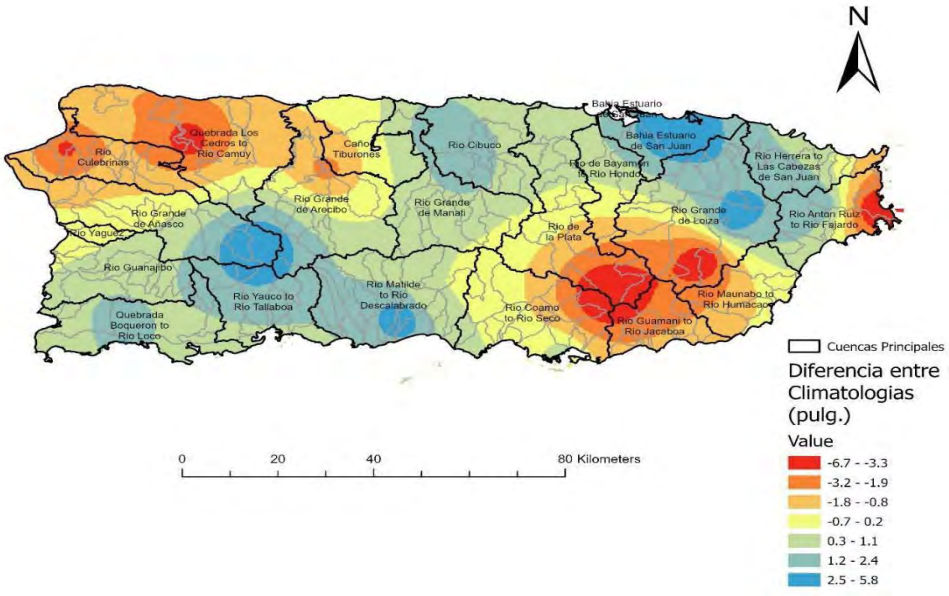
El análisis de tendencia de lluvia anual por temporada y diaria realizado por especialistas del CEACC –presentado en las secciones 3.2-3.4– concluyó que varias regiones de la isla (noroeste y sureste) experimentaron una reducción en la precipitación entre 1955 al 2022 y que otras zonas (centro-sur y noreste) experimentaron un aumento. Cuando examinamos la reducción en la lluvia total anual promedio por cuenca hidrográfica entre la climatología de la precipitación del 1955-1987 y la del 1988-2022, observamos que las cuencas donde hubo reducción (-6.7 a 1.8 pulgadas) son las ubicadas en el noroeste (ríos Culebrinas y Guajataca y las quebradas Los Cerros y Río Grande de Arecibo) y en el sureste (río Coamo, río Guamaní y río Maunabo).

Cabe destacar que las cuencas ubicadas en el centro-sur se encuentran en áreas en donde hubo un leve incremento en la precipitación total promedio anual (0.3-2.4 pulgadas). Áreas en el interior oeste y en el noroeste muestran un incremento en la lluvia anual promedio de 2.5 a 5.8 pulgadas. No está claro si estos cambios en la climatología de la precipitación son producto de la variabilidad natural del clima o producto del cambio climático ya que, como mencionado, la lluvia en Puerto Rico se debe a muchos factores. No obstante, cabe recalcar que la mayoría de los modelos climáticos proyectan una disminución en la lluvia para la región de Puerto Rico, por lo que algunas de estas tendencias podrían mantenerse o intensificarse.

Las cuencas hidrográficas del noroeste y sureste se identifican como las más comprometidas en cuestión de la precipitación, a base del análisis realizado por especialistas del CEACC (Ilustración 44). Tanto el análisis realizado por el CEACC y datos recientes del Monitor de Sequía federal identifican episodios de sequía severos en esas cuencas en los últimos diez años. Por lo tanto, el buen manejo del recurso hídrico de esas cuencas comprometidas debe ser prioridad para todas las agencias pertinentes (DRNA, AAA, AEE) y para las comunidades ubicadas en esas zonas más vulnerables a la sequía.

**Ilustración 44.**

*Cambios en la climatología de la lluvia en Puerto Rico a nivel de cuencas hidrográficas*



A medida que el cambio climático agrava los eventos climáticos extremos en Puerto Rico como las sequías, es esencial abordar la desigualdad en el acceso al agua y la falta de recursos para adaptarse y recuperarse de estos eventos. La justicia climática implica también abordar las causas subyacentes de la sequía, como la deforestación, la agricultura insostenible y la falta de acción climática efectiva. En última instancia, la justicia climática y la sequía están inextricablemente relacionadas y deben abordarse de manera integral para proteger a las comunidades más vulnerables y construir un futuro más justo y sostenible.

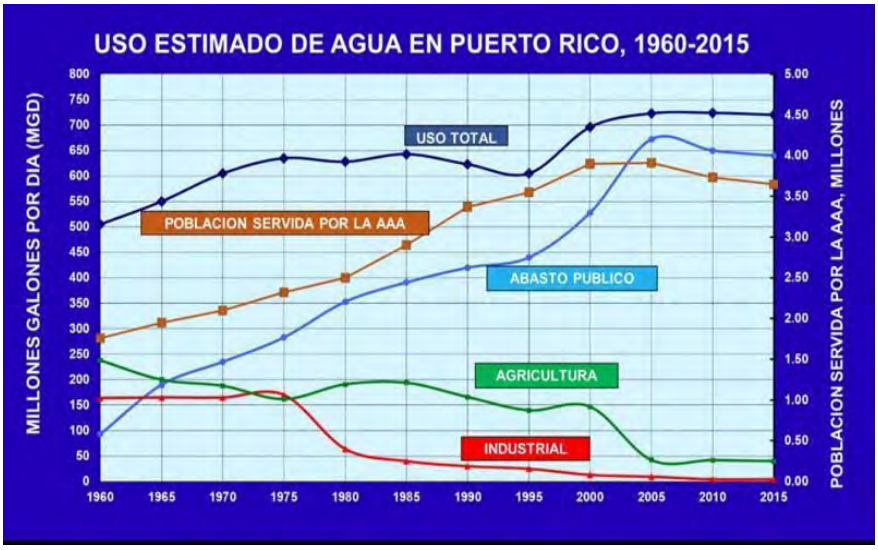
### *4.7.1.1. Uso del recurso agua (estatal y ciudadano)*

La AAA es el principal consumidor de agua, con una extracción aproximada de 541 millones de galones diarios (mgd) provenientes de diversas fuentes como quebradas, ríos, embalses y acuíferos en el año 2021[395]. La AAA cuenta con 113 plantas de filtración que suministran agua potable al 97 % de los 3.3 millones de habitantes, a través de una red de tuberías que abarca más de 20,000 kilómetros.

La AAA administra también 51 plantas sanitarias que reciben alrededor de 207 mgd de aguas residuales provenientes de hogares, comercios e industrias pequeñas, que son descargadas en otros cuerpos de agua o directamente en el océano. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Departamento de Salud de Puerto Rico supervisan la operación de las plantas de filtración y de las plantas sanitarias de la AAA para garantizar el cumplimiento de las leyes federales relacionadas con la calidad del agua potable y las descargas sanitarias. Cuando observamos el uso estimado de agua por sector (Ilustración 45), vemos que el uso total aumentó a través de los años, pero el uso del recurso en el sector agrícola, el industrial y en la población servida mermó en las últimas décadas.

**Ilustración 45.**

*Uso estimado de agua en Puerto Rico por sector (AAA)*




[395] Información provista en el portal Recursos de Agua de Puerto Rico.

La AEE es responsable de operar una red de 18 embalses principales que cuentan con 20 plantas generadoras hidroeléctricas distribuidas en toda la isla, de las cuales 11 están en operación. La AEE administra los embalses en función de las necesidades de generación de energía del sistema. Ni el DRNA ni la AAA tienen la facultad de intervenir en la operación de esos embalses.

Además, la AEE es responsable de administrar todos los sistemas de riego, incluyendo la facultad legal de vender el excedente de agua que no se utiliza en los distritos de riego a usuarios que no necesariamente son agrícolas. La AAA es el principal usuario de los embalses propiedad de la AEE, de los que obtiene alrededor de 200 millones de galones de agua por día. El DRNA vuelve a ser el custodio del agua una vez que el recurso sale del embalse y vuelve al cauce del río.

Según la AAA, estudios llevados a cabo por la Oficina del Plan de Aguas del DRNA estimaron el consumo promedio per cápita de agua potable en 85 galones por persona por día (gp/d). A base de la población estimada en el Censo federal del 2010 (3.7 millones de habitantes), el consumo total se estima en 325 mgd, incluyendo el consumo en comercios e instalaciones públicas. Esto resulta en aproximadamente 350 mgd de agua "no-contabilizada". Teóricamente, si la AAA recuperara el 25 % del agua no-contabilizada (87.5 mgd), podría reducir significativamente sus inversiones en infraestructura nueva para producir agua potable.

En el informe más reciente completado en el 2021, la AAA realizó un análisis del agua no-contabilizada en sus sistemas de producción, almacenaje y distribución de agua potable. Los resultados se resumen en que la AAA factura solo el 33.53 % del agua que produce (reducción en facturación comparada con el 2020, cuando facturaba cerca del 34 %). La corporación pública estima sus pérdidas reales por filtraciones en el 57.7 % de su producción de 540.6 mgd, un aumento de 9 % en sus pérdidas comparado con el 48.7 % de la producción diaria de 647 mgd en el 2015.

En Puerto Rico, las áreas propensas a racionamiento de agua varían dependiendo de la época del año y las condiciones climáticas. Sin embargo, históricamente, las zonas más afectadas por el racionamiento de agua están en el sur y este, debido a la menor disponibilidad de agua y la alta demanda durante los meses secos.

En particular, las áreas en la región de Ponce y sus alrededores, así como en las áreas de Humacao y Yabucoa, han experimentado escasez de agua y racionamiento en el pasado. También se han reportado problemas en otras zonas como en Arecibo, Mayagüez y San Juan.

Es importante destacar que el racionamiento de agua en Puerto Rico se relaciona a menudo con la falta de infraestructura adecuada, la mala gestión del agua y la falta de inversión en el mantenimiento y mejora de la infraestructura existente. Por lo tanto, se necesitan esfuerzos a largo plazo para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua en toda la isla.

Por otra parte, existen numerosos sistemas de agua comunitarios que no están bajo la administración de la AAA. Estos sistemas suelen ser pequeños, operados por residen-

tes locales y a menudo no cumplen con los estándares de calidad del agua establecidos por la EPA.

Los sistemas comunitarios y de autoabastecimiento pueden proporcionar agua potable a las personas, aunque también presentan desafíos significativos. La falta de recursos y la capacitación adecuada para la gestión de esos sistemas puede llevar a problemas de calidad del agua y al incumplimiento de los estándares de la EPA. Además, la falta de regulación y supervisión de esos sistemas puede poner en riesgo la salud de los usuarios y la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos.

### 4.7.2. Aguas subterráneas

Puerto Rico cuenta con una gran cantidad de acuíferos que proveen agua potable a gran parte de la población. Estos acuíferos son formaciones geológicas de depósitos aluviales, roca caliza cárstica y roca ígnea saturadas de agua con un volumen y permeabilidad suficientes para sostener una extracción significativa del recurso. Los acuíferos de la zona sur se forman a partir de depósitos aluviales[396].

El acuífero del norte es el más extenso y provee agua a la mayoría de los municipios de la zona metropolitana. El acuífero del sur es el segundo en importancia y abastece a las regiones sur y oeste. El acuífero de la costa norte es el más vulnerable a la contaminación debido a su proximidad a zonas urbanas y agrícolas.

La sobreexplotación de los acuíferos es un problema en Puerto Rico, especialmente en la costa sur donde se encuentra el acuífero de Santa Isabel. El aumento en la demanda de agua ha provocado una disminución en los niveles freáticos, lo que ha dejado a los acuíferos más vulnerables a la intrusión salina y otros tipos de contaminación. La AAA ha tomado medidas para reducir la extracción de agua de los acuíferos y fomentar el uso eficiente del agua.

Asimismo, la calidad del agua subterránea es un problema importante debido a la contaminación causada por actividades humanas y eventos naturales. Algunas de las actividades humanas que han contribuido a contaminar los acuíferos son la agricultura, la industria, la minería y la eliminación inadecuada de residuos. Además, eventos naturales como huracanes y terremotos pueden causar daños en las infraestructuras de almacenamiento y distribución del agua potable. Esas amenazas pueden afectar la calidad del agua subterránea. Es importante implementar medidas para proteger y conservar los acuíferos, ya que son una fuente vital de agua potable para la población.

El balance de abastos de agua para Puerto Rico proviene de aproximadamente 600 pozos profundos dispersos en la isla (90 mgd, primordialmente en los valles aluviales costeros de las regiones norte y sur) y unos 80 mgd de tomas en quebradas y ríos.

396 Méndez Tejeda, Rafael; Richards, Ronald T.; and Emiliano Anastacio, “Analysis of Groundwater in Puerto Rico.” *American Journal of Water Resources,* vol. 4, no. 3 (2016): 68-76. doi: 10.12691/ajwr-4-3-3.

Según un informe del USGS[397], el agua subterránea se usa en Puerto Rico principalmente para riego en la agricultura, para consumo humano y en fábricas e industrias. Investigaciones del Servicio Geológico federal indican que en 1980 se usaban cerca de 246 mgd de agua subterránea. Se estima que el uso aumenta un promedio de cerca de 1.5 mgd por año.

Los acuíferos más extensos e intensamente desarrollados son el sistema acuífero de piedra caliza de la costa norte y el sistema acuífero de la planicie aluvial de la costa sur. Las extracciones de estos dos sistemas acuíferos constituyen casi el 70 % del total de agua subterránea extraída en Puerto Rico[398].

El sistema acuífero del norte abarca una extensión espacial de alrededor de 2,000 km2. Sin embargo, la mayor utilización de aguas subterráneas se concentra en un área de aproximadamente 800 km2 entre el Río Grande de Arecibo y el Río de la Plata. Esta zona es de gran interés debido a la creciente preocupación sobre el uso futuro de las aguas subterráneas como fuente principal de agua para consumo doméstico e industrial. En el 1985 se estimó una extracción de 280,000 metros cúbicos por día (m3/d) de agua subterránea, siendo esta la principal fuente de agua para industrias y suministros públicos. Esto representó el 100 % de la fuente de agua autoabastecida y alrededor del 85 % del suministro público de agua. No obstante, para el 2005, la extracción de agua subterránea se redujo a 150,000 m3/d.

En cuanto al sistema acuífero de la llanura aluvial de la costa sur, su extensión espacial es de alrededor de 470 kilómetros cuadrados (km2). La extracción consuntiva (relativa al consumo) estimada de agua subterránea de este sistema acuífero fue de 190,000 m3/d en 1980 y de 170,000 m3/d en el 2005. El suministro público de agua y el riego consumieron alrededor del 60 % y el 40 % de la extracción de agua subterránea, respectivamente.

En las islas de Vieques, Culebra y Mona, solo Vieques depende en gran medida de los acuíferos. Los acuíferos Resolución y Esperanza subyacen en un área de 16 km2 en Vieques. Antes del 1978, cuando se instaló una tubería de suministro de agua pública submarina que conecta a Vieques con la isla principal de Puerto Rico, la extracción de agua subterránea de ambos acuíferos era de hasta 2,500 m3/d. Sin embargo, para el 2005, las extracciones de agua subterránea en Vieques se estimaron en menos de 100 m3/d.

El cambio climático está teniendo un impacto significativo en las aguas subterráneas de todo el mundo, incluyendo Puerto Rico. Uno de los mayores efectos es la variación de la precipitación y la recarga de agua subterránea, ya que los patrones de lluvia están cambiando en todo el mundo debido al cambio climático. En Puerto Rico, las sequías más frecuentes y severas están reduciendo la recarga de agua subterránea, lo que afecta su disponibilidad y calidad.

---

397 Quiñones, P. F., & Alicea-Ortiz, J. (1985). “Agua subterránea en Puerto Rico”. *US GEOLOGICAL SURVEY OPEN-FILE REPORT*, 85, 642.

398 Gómez-Gómez, F., Rodríguez-Martínez, J., & Santiago, M. (2014). *Hydrogeology of Puerto Rico and the outlying islands of Vieques, Culebra, and Mona*. Washington, D.C., USA: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

Además, el aumento del nivel del mar provoca una intrusión salina en los acuíferos costeros de Puerto Rico, en especial en el sur. Esto reduce la cantidad de agua dulce disponible. La intrusión salina puede afectar también la calidad del agua subterránea, lo que hace que sea más difícil y costoso tratarla para su uso.

Otro impacto del cambio climático en las aguas subterráneas es el aumento de las temperaturas del aire y del agua. Este aumento puede afectar la calidad del agua subterránea al aumentar la tasa de reacciones químicas y biológicas. El fenómeno puede provocar la liberación de sustancias químicas y contaminantes en el agua subterránea, haciéndola inadecuada para el consumo humano y animal.

#### *4.7.2.1. Realimentación de los acuíferos*

La recarga de los acuíferos es esencial para mantener un suministro sostenible de agua subterránea en Puerto Rico. La recarga de los acuíferos se refiere al proceso natural de recarga de agua dulce en el subsuelo, que se produce a través de la infiltración de la lluvia (y la nieve donde aplique) en el suelo. También puede producirse por la infiltración de agua en ríos, lagos y otros cuerpos de agua superficiales.

En Puerto Rico, la recarga de los acuíferos puede verse afectada por varios factores, como la cantidad de lluvia, la calidad del suelo y la topografía. Por ejemplo, los acuíferos aluviales en la zona sur reciben una cantidad significativa de agua de lluvia, mientras que los acuíferos cársticos en la zona norte dependen en gran medida del agua infiltrada desde las montañas.

Además, las prácticas humanas, como la extracción excesiva de agua subterránea y el desarrollo urbano, pueden reducir la recarga de los acuíferos. Por lo tanto, es importante tomar medidas para fomentar la recarga de los acuíferos, como promover la conservación de los suelos y las áreas naturales, y limitar la extracción excesiva de agua subterránea.

La recarga artificial de acuíferos es otra técnica que se puede utilizar para aumentar la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y, por lo tanto, aumentar la recarga de los acuíferos. La técnica se puede lograr mediante la construcción de embalses, la infiltración de agua tratada o la recarga de pozos específicos. La recarga artificial de acuíferos es una herramienta importante en la gestión del agua y puede ayudar a mantener un suministro sostenible de agua subterránea en el futuro.

El desarrollo potencial de recursos de agua subterránea relativamente sin explotar se limita al valle del Río Grande de Añasco y al valle del río Culebrinas en la parte occidental y a la parte del Río Grande de Arecibo del sistema acuífero de piedra caliza de la costa norte. En general, los sistemas acuíferos del norte y del sur muestran evidencia de sobreexplotación, según lo indican los aumentos regionales en las concentraciones de sólidos disueltos.

Optimizar las extracciones mediante el uso conjunto de fuentes de aguas superficiales y subterráneas y mediante medidas de conservación del agua tiene el mayor potencial para garantizar el uso continuo de los recursos de aguas subterráneas. Para apoyar estos esfuerzos, podrían implementarse programas para mejorar la información de la base

de datos con respecto a las extracciones de agua subterránea y la contribución de las desviaciones de agua superficial al flujo de agua superficial, especialmente dentro de la planicie costera del sur de Puerto Rico.

En el 2015, la orden ejecutiva 2015-011[399] llevó a la formación de un comité interagencial para abordar la crisis del agua y proteger los acuíferos en la región sur. Encabezado por el DRNA, el comité discutió varias alternativas, incluidas reducir el suministro de agua a usuarios agrícolas para abastecer una nueva planta de filtración de agua, construir un nuevo acueducto para transportar agua desde una zona distante y desalinizar. Después de considerarlas, el comité decidió que ninguna de las opciones sería adecuada para Salinas, ya que todas eran costosas y las dos primeras reducirían el suministro de agua disponible para otros usuarios.

No obstante, se consideró factible otro plan para desviar el agua de otros lugares y almacenarla en el acuífero, una estrategia llamada almacenamiento y recuperación del acuífero. La estrategia funciona al recolectar parte del agua del cercano embalse de Patillas que normalmente se derrama en el mar. Un sistema de canales transportaría el agua al área de Salinas, donde se usaría para recargar y restaurar el acuífero. Los análisis mostraron que el almacenamiento y la recuperación de acuíferos serían mucho menos costosos que las otras alternativas que consideraron. La estrategia podría mejorar también la disponibilidad de agua para la agricultura y otros usuarios, además de mantener el suministro municipal existente. Un informe interagencial federal con fecha de octubre de 2019, indica que el gobierno de Puerto Rico proveería $714,053 y que FEMA desembolsó $2.1 millones para el proyecto en agosto del 2017[400].

#### 4.7.2.2. *Intrusión salina en los acuíferos*

Uno de los problemas principales que afectan los acuíferos costeros de Puerto Rico es la intrusión de agua salina debido al aumento del nivel del mar asociado al cambio climático. La intrusión salina en los acuíferos es un problema ambiental que se produce cuando el agua salada se infiltra y contamina los acuíferos de agua dulce. Esto puede ocurrir debido a una variedad de factores, como la sobreexplotación de los acuíferos, el aumento del nivel del mar por el cambio climático, la construcción de represas y embalses que alteran el flujo de agua, entre otros.

A medida que el nivel del mar aumenta, el agua salada puede avanzar tierra adentro a lo largo de los acuíferos costeros, contaminándolos. Asimismo, el aumento del nivel del mar puede aumentar la presión hidrostática en los acuíferos costeros, lo que puede empujar el agua salada más profundamente en el acuífero y hacer que la intrusión salina sea más difícil de controlar.

Cuando la intrusión salina ocurre, puede tener graves consecuencias para las comunidades que dependen de los acuíferos para el suministro de agua potable y la agricultura. El agua salada es inapropiada para el consumo humano y puede ser perjudicial para los cultivos. La intrusión salina es un problema importante en Puerto Rico debido a su ubi-

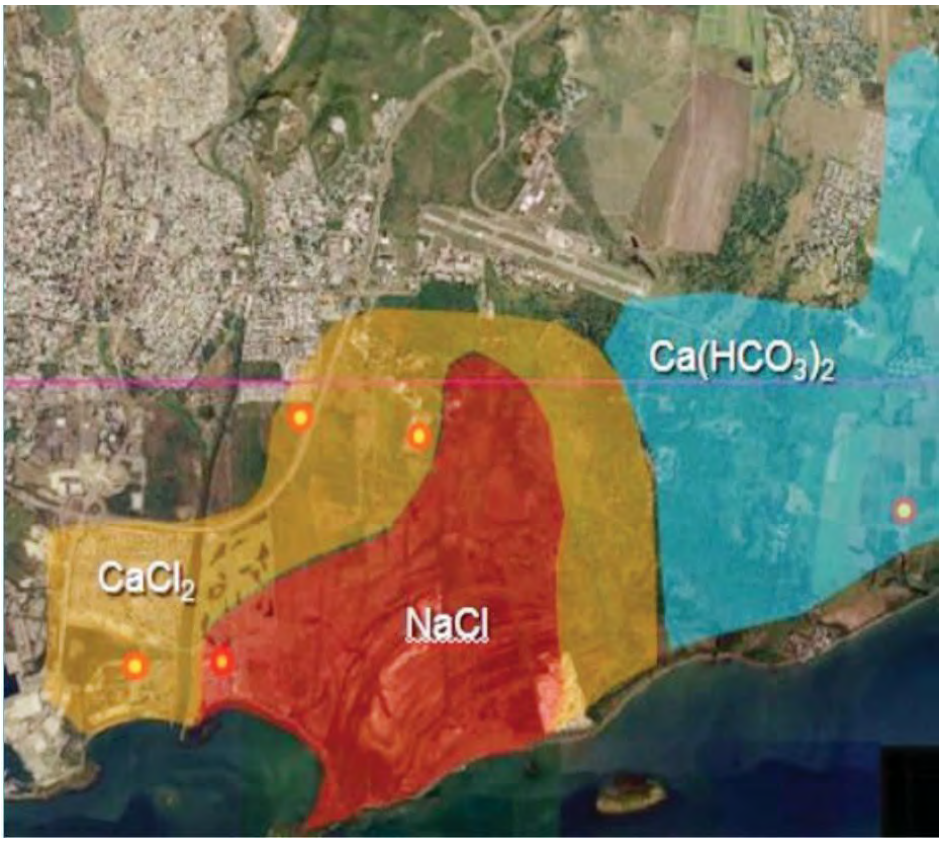
[399] Véase la OE-2015-011.
[400] Véase *Aquifer Storage and Recovery: A Strategy for Long-Term Water Security in Puerto Rico*.

cación en el mar Caribe y la dependencia de la isla de los acuíferos subterráneos para el suministro de agua dulce.

Un informe del DRNA[401] indica que, en sectores del sur, el agua salada se ha estado desplazando hacia tierra adentro debido a la extracción de pozos por parte de las comunidades locales y la AAA (Ilustración 46). El acuífero de Santa Isabel es el que presenta el mayor problema de contaminación entre los acuíferos del sur. Este acuífero experimenta una sobreexplotación aguda debido a que toda su población, junto con el 70 % de la población de Coamo, depende de él para abastecerse de agua. Como resultado de esta sobreexplotación, los niveles freáticos han disminuido hasta 14 pies por debajo del nivel del mar en algunos sectores, según datos del USGS publicados en el 2008. Esta disminución en los niveles freáticos hace que el acuífero sea especialmente vulnerable a la intrusión salina.

**Ilustración 46.**

*Mapa de la condición hidroquímica en el acuífero del área de Ponce, 2012. Los puntos rojos representan los pozos analizados por el USGS*




Fuente: Rodríguez & Gómez, 2009.

[401] DRNA. (2014). Informe técnico para la declaración de área crítica – Acuíferos del sur.

Entre otras medidas, las agencias de gobierno han llevado a cabo proyectos de desalinización y tratamiento de agua salada para reducir la dependencia de los acuíferos subterráneos y mitigar los efectos de la intrusión salina. Sin embargo, la intrusión salina sigue siendo un problema importante y se necesitan esfuerzos continuos para proteger y gestionar adecuadamente los recursos hídricos subterráneos de la isla.

Para prevenir la intrusión salina, se pueden tomar medidas como limitar la extracción de agua subterránea en áreas vulnerables, mejorar la gestión del agua y aumentar la eficiencia en su uso. Además, se puede considerar construir estructuras de protección costera para evitar el avance del agua salada hacia los acuíferos. También es importante monitorear regularmente la calidad del agua en los acuíferos para detectar la intrusión salina temprano y tomar medidas para limitar su impacto.

### 4.7.3. Aguas superficiales y escorrentías

En Puerto Rico se observa un aumento en la escorrentía de agua debido a diversos factores, como la urbanización y la deforestación, que han alterado los patrones naturales de drenaje del agua. La urbanización ha aumentado la cantidad de superficies impermeables, como calles y edificios. Con ello disminuye la capacidad del suelo para absorber y retener agua. La deforestación elimina la vegetación que ayuda a absorber el agua y mantenerla en el suelo. Como resultado, una mayor cantidad de agua fluye rápidamente sobre la superficie del suelo y llega a los cuerpos de agua, lo que provoca inundaciones y erosión del suelo.

Además, el alza en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia extrema como resultado del cambio climático aumenta la cantidad de escorrentía. Los cambios en las escorrentías tienen un impacto significativo en la disponibilidad y calidad del agua, ya que pueden disminuir la recarga de los acuíferos y aumentar la contaminación del agua debido a la escorrentía de productos químicos y otros contaminantes.

Por otro lado, Puerto Rico es propensa a experimentar inundaciones extremas que podrían agravarse por los impactos del cambio climático en la región. Algunas de las zonas en más riesgo de estos eventos son:

- La costa norte es particularmente vulnerable a inundaciones durante la temporada de huracanes, en especial las áreas cercanas a ríos y arroyos.
- La costa sur, especialmente en áreas cercanas a las pendientes inclinadas de la cordillera central, la costa y los ríos.
- Las zonas bajas del área metropolitana de San Juan por la alta densidad poblacional y el sistema de drenaje limitado por la gran extensión de sus superficies urbanas.
- El Valle de Caguas, debido a la topografía de la región y a la cantidad de ríos y arroyos que la atraviesan.
- Las áreas montañosas del centro.

Los cambios en frecuencia y distribución espacial de la precipitación afectan también las aguas superficiales y escorrentías. Uno de los impactos más preocupantes del cambio climático es que las fuertes escorrentías ocasionen inundaciones severas. Mucha de la literatura científica analiza los eventos extremos de precipitación causantes de reacciones hidrológicas que pueden provocar inundaciones severas. Con las proyecciones de más eventos de lluvia extrema por el cambio climático, también podemos anticipar que la probabilidad de que estos causen inundaciones en el futuro es muy alta.

Muchas de las mediciones máximas récord de descarga de ríos y escorrentías en Puerto Rico se asociaron con ciclones tropicales, como el huracán Donna en septiembre de 1960[402], el huracán Hortense en septiembre de 1996[403] y el huracán Georges en septiembre de 1998[404]. Las inundaciones extremas asociadas con estos ciclones provocaron efectos devastadores que se tradujeron en pérdidas multimillonarias. La tormenta tropical Eloise (1975) dejó más de 19.7 pulgadas (500 mm) sobre algunas áreas en la región central con inundaciones repentinas que causaron 34 muertos y pérdidas de $458 millones. Las inundaciones causadas por el huracán Georges provocaron pérdidas por más de $2,000 millones. Asimismo, el huracán David (1979) provocó siete muertes y pérdidas por $200 millones. El huracán Hortense causó 18 muertos y daños por $128 millones.

En las últimas décadas, algunas estaciones que miden flujo de agua en los ríos registraron un aumento en el número de eventos extremos de descarga (Ilustración 47A). La última década marcó el promedio más alto (Ilustración 47B). Estudios recientes encontraron que, aunque el huracán María provocó una respuesta hidrometeorológica más extrema, algunas de las características hidrometeorológicas del huracán Fiona estuvieron entre las más altas jamás registradas en Puerto Rico, particularmente para las partes centro-sur y este. A su vez, mostró el nivel actual de vulnerabilidad de la isla a lluvias extremas e inundaciones.

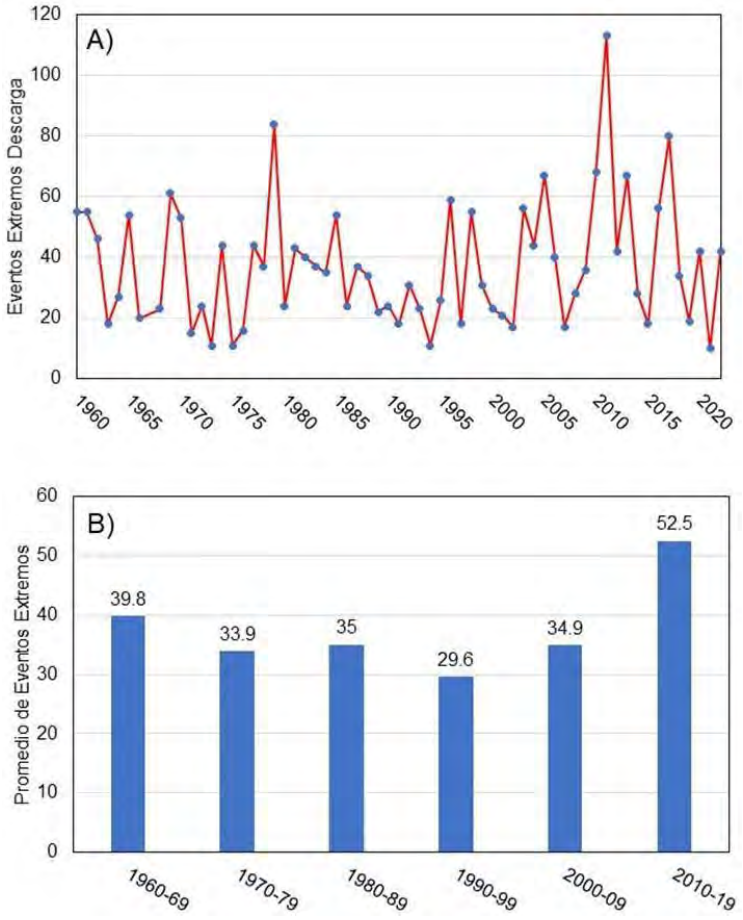
[402] Barnes, H.H. and Bogart, D.B., 1961. “Floods of September 6, 1960,” in Eastern Puerto Rico. Vol. 451. *US Government Printing Office*.

[403] Torres-Sierra, H., 1997. “Hurricane Hortense: impact on surface water in Puerto Rico,” (No. 014-97). *U.S. Geological Survey*. [Google Scholar]

[404] Larsen, M.C. and Román, A.S., 2001. “Mass wasting and sediment storage in a small montane watershed: an extreme case of anthropogenic disturbance in the humid tropics.” In: J.M. Dorava, D.R. Montgomery, B.B. Palcsak and F.A. Fitzpatrick, eds. *Geomorphic Processes and Riverine Habitat*. Washington, D.C.: *American Geophysical Union*, 119–138. Doi: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WS004p0119

**Ilustración 47.**

*Descarga de río en o por encima del 90 percentil (a) y promedio de eventos de inundaciones extremas por década (b) para la estación hidrológica del Río Grande de Loíza en Caguas*




## 4.7.4. Manejo de los embalses y tomas de agua

Los embalses son fuente importante de agua para el consumo humano, la irrigación y la generación de energía hidroeléctrica. Estos experimentaron también cambios significativos en los últimos años debido a factores como el cambio climático y la urbanización.

Uno de los cambios más evidentes es el aumento de la sedimentación, lo que reduce su capacidad de almacenamiento y afecta la calidad del agua. El cambio puede deberse a la erosión del suelo causada por la deforestación, la construcción de carreteras y otras actividades humanas. Además, el aumento de las lluvias extremas asociadas al cambio climático puede intensificar la erosión del suelo y, por lo tanto, la sedimentación en los embalses.

Otro cambio importante es la disminución en la disponibilidad de agua en algunos embalses debido a la disminución de las lluvias en las últimas décadas. El cambio climá-

tico ha provocado una mayor variabilidad en los patrones de lluvia en la región, con períodos más largos de sequía seguidos de lluvias torrenciales. La alteración lleva a una disminución en la recarga de los embalses y, por lo tanto, reduce su capacidad de almacenamiento.

Por último, el cambio climático aumenta también la temperatura del agua en algunos embalses, lo que puede afectar la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos. Las altas temperaturas pueden aumentar el crecimiento de algas y otros organismos, con lo que disminuye la cantidad de oxígeno en el agua y se afecta la vida acuática. Además, puede favorecer el crecimiento de bacterias y otros microorganismos patógenos potencialmente peligrosos para la salud humana.

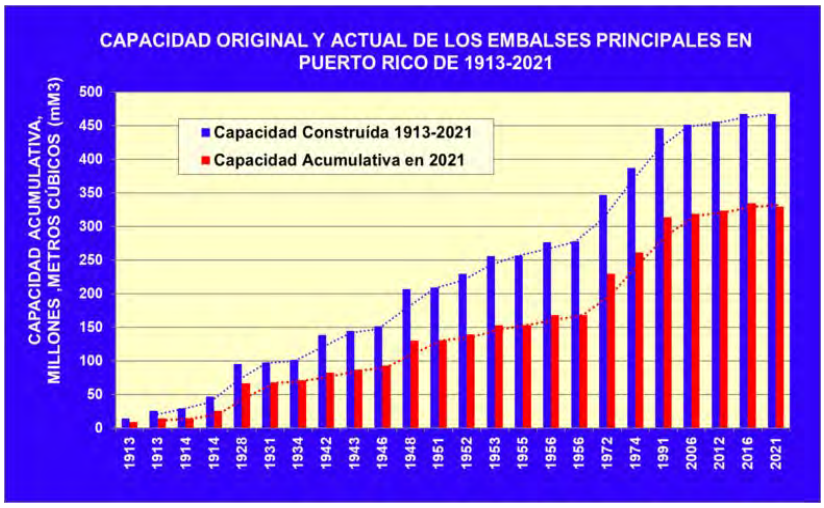
Los embalses representan la fuente principal de agua para las plantas de filtración de la AAA. Proporcionan alrededor del 67 % del total de agua extraída en el 2014, principalmente de embalses propiedad de la AEE. Actualmente existen 36 embalses, tanto en el cauce fluvial como fuera de él en la región este, que contribuyen con el 68 % de toda el agua que la AAA purifica y distribuye para abastecer al 97 % de la población. Además, los embalses son la fuente principal de suministro de agua para el riego agrícola en los distritos de riego del noroeste, sureste y suroeste. Un 1.7 % de la electricidad que la AEE genera proviene de unidades hidroeléctricas ubicadas en las represas de estos embalses, y son también centros con áreas recreativas y de pesca deportiva.

Entre 1914 y 1952 se llevó a cabo el primer período de desarrollo de los embalses en Puerto Rico por la Autoridad de las Fuentes Fluviales (actualmente la AEE) y el *U.S. Bureau of Reclamation* (BuRec), agencia federal del Departamento del Interior. El segundo período, de 1952 a 1974, incluye embalses desarrollados por agencias estatales en colaboración con varias agencias federales, como el BuRec y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE). En 1991 se completó el embalse Cerrillos, cerca de Ponce, con la colaboración del USACE y del DRNA. Los embalses Fajardo y Río Blanco (Naguabo) se completaron en 2004 y 2009, respectivamente, por la AAA. El embalse Portugués es el más reciente, construido por el DRNA con asistencia financiera y técnica de la USACE en 2014.

La AAA informa que el volumen original de los embalses en Puerto Rico suma 456.6 millones de metros cúbicos (equivalente a 370,000 acres-pies), mientras que la capacidad actual es de aproximadamente 339.4 millones de metros cúbicos (unos 275.1 acres-pies) (Ilustración 48). Los datos indican que el porcentaje de capacidad perdida en los embalses debido a la sedimentación es de alrededor del 25.5 % de la capacidad construida. Los embalses Carraízo (Trujillo Alto), Dos Bocas (Utuado) y Lucchetti (Yauco) han perdido más capacidad debido a la acumulación de sedimentos, y suministran el 30 % del agua que la AAA potabiliza. Actualmente, no existe un programa organizado para prevenir la sedimentación de los embalses. Dragar los embalses principales más sedimentados (Loíza, Dos Bocas, Lucchetti y Guayabal) costaría cerca de $1.6 mil millones, una cantidad que ninguna de las entidades dueñas (AEE, DRNA y AAA) puede financiar.

**Ilustración 48.**

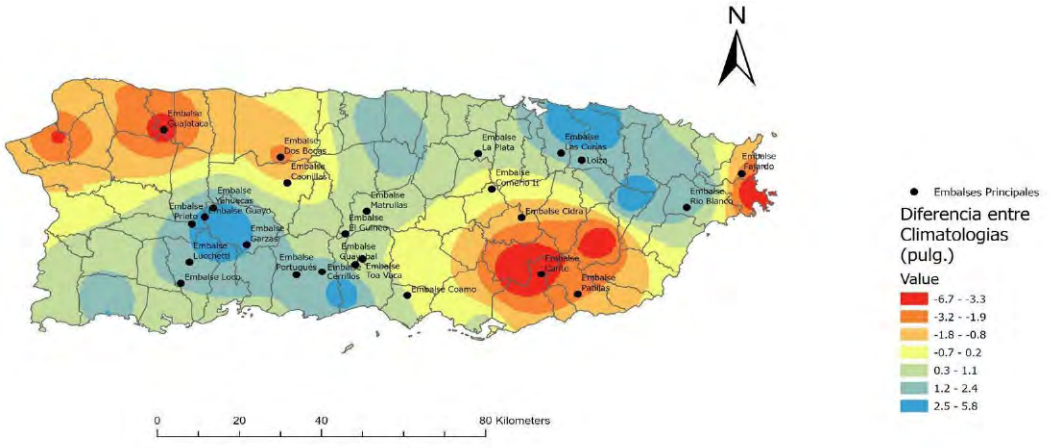
*Capacidad original y actual de los embalses principales (Recursos de agua de Puerto Rico)*




A base del análisis de tendencias de lluvia realizado por especialistas del CEACC (véase la sección 3.4 del P-MARCC), se identificaron varios embalses cuyos niveles podrían disminuir en los próximos años debido a las tendencias históricas de lluvia anual-mensual y las proyecciones de sequía que se esperan en la región. Cuando se examinan los cambios en la climatología de la lluvia anual para Puerto Rico, se observa que ocho embalses principales se encuentran en áreas que han experimentado una disminución en la cantidad de lluvia total promedio. Estos son los embalses de Guajataca, Dos Bocas, Caonillas, Comerío, Cidra, Carite, Patillas y Fajardo (Ilustración 49). Esos embalses suplen una cantidad significativa de agua potable a la AAA, por lo que una disminución en sus niveles podría ocasionar serios problemas de acceso al recurso.

**Ilustración 49.**

*Los principales embalses de Puerto Rico y las diferencias de precipitación anual total promedio entre las climatologías de 1956-1987 y 1988-2022*



Por otro lado, varios embalses están en zonas que han experimentado un aumento en la lluvia total anual en la última climatología (1988-2022). La mayoría de estos se encuentra en la región centro-oeste y sur. Es importante destacar que todas las proyecciones de precipitación para la región donde se encuentra Puerto Rico son de una disminución continua en la lluvia hasta finales de siglo. Así que, aunque la última climatología nos muestra que varios embalses estuvieron en áreas donde hubo un aumento general de lluvia anual total promedio, eso no significa que la tendencia se mantendrá así. Ahora, otro de los impactos del cambio climático es que se proyecta un aumento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia que podrían ocasionar problemas serios de acumulación y eventual desbordamiento de agua en las represas impactadas.

En varias represas han ocurrido desbordamientos y en varios casos se han tenido que abrir las compuertas para deshacerse de la gran cantidad de agua acumulada, ocasionando inundaciones extremas en comunidades aledañas. Algunas de las represas más importantes identificadas como propensas a desbordarse en caso de eventos extremos de lluvia son Carraízo, Portugués, La Plata, Guajataca y Dos Bocas.

Durante el paso del huracán María (2017), el nivel de agua en la represa Carraízo subió significativamente y se temió que pudiera desbordarse. En el 1985, el agua en la represa Portugués se desbordó, lo que resultó en la muerte de varias personas y daños significativos en la infraestructura. También en la represa La Plata hubo desbordamientos durante eventos extremos que ocasionaron inundaciones en comunidades cercanas. Durante el embate del huracán María, desbordamientos en las represas Guajataca y Dos Bocas causaron inundaciones y daños significativos en la infraestructura.

Es muy probable que muchos de los embalses –en especial los del noroeste y sureste– enfrenten retos en su capacidad de mantener niveles de seguridad en los próximos años debido a la reducción de precipitación asociada al cambio climático. Por tal razón, es imprescindible promover e implementar prácticas de buen manejo de embalses de agua. En la sección 7.7 presentamos una serie de estrategias con ese fin.

### 4.7.5. Pérdida de agua

Entre los factores que amenazan la disponibilidad del agua está la pérdida del recurso en el sistema de distribución de la AAA, que admite perder alrededor del 60 % del agua que produce. La misma cantidad de agua se pierde también en los canales de riego de la AEE. A ello se suma la situación precaria de los acuíferos. El DRNA declaró el acuífero del sur en “estado crítico”. A pesar de que la agencia prohibió la construcción de nuevos pozos y ha limitado el aumento del agua que se extrae de los pozos existentes en un esfuerzo por proteger el acuífero en Salinas, las medidas han sido insuficientes y hubo que establecer una prohibición de construcción.

Por otro lado, las lluvias torrenciales aumentan vertiginosamente los niveles de turbiedad, al punto que saturan las plantas potabilizadoras de la AAA. La ocurrencia de lluvias extremas aumenta la erosión en las cuencas hidrográficas, colmatando (rellenando con) sedimentos a nuestros embalses principales y disminuyendo la capacidad de almacenaje de agua. La destrucción de los millones de árboles por el huracán María agrava la acumulación de sedimentos y niveles de turbiedad. La situación fuerza a la AAA a suspender

el servicio de agua hasta que bajen los niveles de turbiedad. Las cuencas hidrográficas de mayor erosión son aquellas que experimentan un alto índice de precipitaciones y que tienen una topografía muy inclinada.

Algunas de las cuencas hidrográficas con mayor erosión son: las cuencas del Río Grande de Loíza y del río Espíritu Santo, en el noreste; cuencas de los ríos Guayanés y Cibuco, la parte central-norte; cuencas del Río Grande de Manatí y del río Arecibo, en el norte; y las cuencas del río Guayanilla y del río Portugués, en el sur.

Estas cuencas hidrográficas son especialmente vulnerables a la erosión del suelo y la sedimentación en los embalses debido a la alta cantidad de sedimentos y materiales arrastrada por los ríos durante las lluvias intensas. Por lo tanto, es importante implementar prácticas de conservación de suelos y manejo de cuencas para reducir la erosión y la sedimentación en los embalses y mejorar la calidad del agua.

Además, el gran volumen de agua de escorrentía provocado por las grandes superficies de terreno impermeabilizadas por construcciones, como centros comerciales y urbanizaciones, causan la colmatación de los embalses y la pérdida de la capacidad del sistema de drenaje pluvial para funcionar adecuadamente. En el caso de la agricultura, las precipitaciones extremas pueden provocar una mayor erosión del terreno y la pérdida de la valiosa capa superior del suelo, lo que afecta tanto a la agricultura como a la ganadería. En resumen, son múltiples los factores que afectan la disponibilidad del recurso hídrico en Puerto Rico.

### 4.7.6. Alteración del ciclo hidrológico por el cambio climático

El cambio climático está alterando el ciclo hidrológico en Puerto Rico de diversas maneras. En primer lugar, el aumento de la temperatura del aire intensifica la evapotranspiración. Esto significa que la tierra pierde agua más rápidamente, ya que el calor provoca que las plantas liberen agua de sus hojas y el suelo se evapore con mayor rapidez. Como resultado, la disponibilidad de agua en el suelo disminuye y se reduce la cantidad de agua que llega a los ríos y arroyos.

Por otro lado, el cambio climático hace que las lluvias sean más intensas e irregulares desencadenando una serie de efectos adversos en torno al recurso agua que hemos abordado en esta sección.

Además, el aumento de temperatura asociado al cambio climático incrementa la cantidad de agua que los humanos ingerimos para hidratarnos. Las temperaturas más altas aumentarán la demanda de agua para los sistemas de enfriamiento de hospitales, centros comerciales, edificios de oficinas y hoteles. Otro impacto del cambio climático es que podría aumentar el consumo de agua en las centrales generatrices de la AEE debido a que tienen que producir más electricidad para suplir el aumento de demanda por el uso de abanicos y acondicionadores de aire.

En cuestión de seguridad alimentaria, en el Trópico se requerirá un aumento de 20 % en el riego agrícola para mantener el mismo nivel de productividad de los cultivos, de acuerdo con la Oficina de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

y la Agricultura. Por lo tanto, una disminución en la cantidad o calidad del agua tendrá fuertes implicaciones para el sector agrícola de la isla.

En la sección 7.7 presentamos los cursos de acción para la mitigación, adaptación y resiliencia necesarios para proteger el recurso agua.

## 4.8. Sistemas marinos y zonas costeras

La zona costera se conoce como la franja de transición entre tierra y mar, que está compuesta de diversas formaciones y ecosistemas tales como playas, dunas, humedales costeros como los mangles, arrecifes de coral, praderas de hierbas (o yerbas) marinas, estuarios, depósitos de arena, bosques costeros, islotes y cayos, entre otros.[405] La Zona Costanera (ZC) en su definición legal es la franja de terreno costanero y las aguas adyacentes a Puerto Rico y de las islas dentro de su jurisdicción, delimitada por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y aprobada por la Junta de Planificación (JP) y por el gobernador de Puerto Rico. Se extiende 1,000 metros lineales tierra adentro desde la línea de costa y, además, distancias adicionales, hasta donde sea necesario para asegurar que se incluyan los sistemas naturales claves de la costa, así como las aguas y el suelo oceánico o marítimo que se extiende 3 leguas marinas (10.35 millas terrestres) aguas adentro[406]. Dentro de la ZC se incluye la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) y una diversidad de componentes naturales que hacen de esta franja costera una de gran riqueza ecológica. Estudios previos realizados por la academia, el gobierno federal y el gobierno local reconocen que los componentes naturales de la ZC tienen un rol importante como ecosistemas[407] [408], hábitat[409] [410], barreras protectoras[411] [412]

[405] Short, A. D. (2012) "Coastal Processes and Beaches." *Nature Education Knowledge* 3(10):15.

[406] DRNA. (2017). Conociendo el ecosistema del humedal. Retrieved February 18, 2023, from https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/04/GuiaEducativa_ConociendoElHumedal.pdf.

[407] Murry, B.A. (2019) "Wetland Conservation Requires Transition toward Landscape-Scale Interdisciplinary Approaches." *Wetlands*, 39, 1249-254. https://doi.org/10.1007/s13157-019-01237-9.

[408] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). "Coral Reef Ecosystems." 2019. Retrieved February 18, 2023, from https://www.noaa.gov/education/resource-collections/marine-life-education-resources/coral-reef-ecosystems.

[409] Appeldoorn, R.S.; Bouwmeester, B.L.K. (2022) "Ontogenetic Migration of Juvenile Grunts (Haemulon) across a Coral Reef Seascape: Pathways and Potential Mechanisms." *Diversity*, 14, 168. https://doi.org/10.3390/d14030168.

[410] Griffin, L. P., Brownscombe, J. W., Gagné, T. O., Haak, C. R., Cormier, R., Becker, S. L., Cooke, S. J., Finn, J. T., and Danylchuk, A. J. (2023). "There's no place like home: High site fidelity and small home range of bonefish (Albula Vulpes) inhabiting fringing reef flats in Culebra, Puerto Rico." *Environmental Biology of Fishes*, *106*(2), 433-447. https://doi.org/10.1007/s10641-022-01312-x.

[411] Storlazzi, C.D., Reguero, B.G., Cumming, K.A., Cole, A.D., Shope, J.B., Gaido L., C., Viehman, T.S., Nickel, B.A., and Beck, M.W. (2021) Rigorously valuing the coastal hazard risks reduction provided by potential coral reef restoration in Florida and Puerto Rico: *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2021–1054, 35 p., https://doi.org/10.3133/ofr20211054.

[412] Cumming, K.A., Cole, A.D., Storlazzi, C.D., Reguero, B.G., Shope, J.B., Gaido L., C., Viehman, T.S., Nickel, B.A., and Beck, M.W., 2021, Projected flooding extents and depths based on 10-, 50-, 100-, and 500-year wave-energy return periods for the State of Florida, the Commonwealth of Puerto Rico, and the Territory of the U.S. Virgin Islands for current and potentially restored coral reefs: *U.S. Geological Survey Data Release*, https://doi.org/10.5066/P9ZQKZR9.

[413] y fuentes de desarrollo económico y social[414] [415]. Conocer el estado de estos recursos costeros permitirá identificar cómo estos servicios tan importantes podrían ser afectados y las implicaciones que tendría la pérdida de estos, especialmente ante el escenario de cambio climático. Entre las implicaciones, es de vital urgencia entender cómo la pérdida de los servicios de estos recursos costeros puede aumentar la exposición y vulnerabilidad de las poblaciones, especialmente de aquellos grupos de alta vulnerabilidad social, para enfrentar nuevos eventos.

Son varios los componentes marinos y costeros identificados a lo largo de los aproximados 1,187 kms (kilómetros) de línea de costa y aguas de Puerto Rico, incluyendo las islas municipios de Vieques y Culebra, y sus islotes. Entre los componentes naturales están: las playas, dunas, eolianitas, rocas de playas (*beachrocks*), costas rocosas acantiladas, (*coastal blufs*), formaciones cársicas costeras, costas rocosas, manglares, praderas de hierbas marinas, algas calcáreas, arrecifes de coral, salitral, ciénaga de agua salada, marismas, bahías bioluminiscentes, lagunas costeras, desembocaduras de ríos, estuarios y caños. Los componentes marinos y costeros son diversos, con funciones y servicios únicos de gran importancia. Entre estos, el arrecife de coral se considera uno de los componentes marinos y costeros más afectados por el cambio climático.

Hay que subrayar que existe una importante conexión geográfica-física entre los componentes marinos y costeros con la cuenca hidrográfica, especialmente a escala isleña. Por consiguiente, la mayoría de los procesos que ocurren a nivel de cuenca hidrográfica asociados a actividades naturales o antropogénicas puede incidir en la calidad y distribución de los componentes marinos y costeros. Por ejemplo, es conocido que los cambios en el uso de terrenos y sus efectos en la calidad del agua inciden en la salud de los componentes marinos y costeros, haciéndolos más vulnerables a los efectos del cambio climático. Por lo tanto, el manejo integrado de las cuencas hidrográficas debe ser prioridad como estrategia de planificación para la protección de estos sistemas.[416] [417]

---

[413] Beck, M.W., and Lange, G.M., eds. (2016) Guidelines for coastal and marine ecosystem accounting—Incorporating the protective service values of coral reefs and mangroves in national wealth accounts: *World Bank*, Washington, D.C., 14p.

[414] Leeworthy, V.R., Conant, P. and Schwarzmann, D. (2018). Non-market Economic Value by Reef Using Visitors for Recreation on Puerto Rico's Coral Reef Ecosystems, An Attributes Approach: Policy/ Management Scenarios. Silver Spring, MD: Office of National Marine Sanctuaries. National Oceanic and Atmospheric Administration, April 2018.

[415] The Nature Conservancy (TNC), Caribbean Division. (2020). From mountains of green to miles of blue this Caribbean treasure needs protecting. Caribbean Puerto Rico Fact Sheet. Retrieved February 23, 2023, from https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Caribbean-Puerto-Rico-Fact-Sheet.pdf.

[416] Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ). (2022, April 13). Simposio de Cuencas hidrográficas de Puerto Rico 2022. Retrieved April 6, 2023, from https://estuario.org/schpr2022/.

[417] NCCARF - National Climate Change Adaptation Research Facility. (2016) NCCARF and Coast Adapt Archive Library. (n.d.).

### 4.8.1. Deterioro de ecosistemas marinos y costeros: arrecifes de coral, hierbas marinas y humedales

El deterioro de los ecosistemas marinos y costeros representa un reto que urge atender ante el escenario del cambio climático por el importante servicio que estos ofrecen como hábitat, ecosistema y barrera natural, entre otros. A continuación, se incluye una descripción de la situación de los arrecifes, hierbas marinas y humedales en la isla.

#### *4.8.1.1 Arrecifes de coral*

Puerto Rico está rodeado de aproximadamente 5,000 km$^2$ de ecosistemas de arrecifes de coral poco profundos[418]. Estos protegen las aguas del interior y las costas. Ofrecen servicios como barrera costera, hábitat de especies, fuente de alimentos y nuevos medicamentos[419], y fuente de empleos y recreación[420]. El valor económico neto de los arrecifes a nivel mundial se estima en decenas de miles de millones de dólares por año[421].

Como barrera costera, atenúan las olas, protegiendo vidas y propiedades, incluyendo a la infraestructura crítica[422].

Según el informe *El estado de los arrecifes de coral en Puerto Rico*, entre 2014-2017 (antes de los huracanes del 2017) la condición de los arrecifes de coral de la isla se clasificó como "regular" con un valor de 70 %, según la escala utilizada, que indica que los corales y las algas estaban de moderadamente impactados a muy impactados[423]. Respecto a la cobertura de coral duro, el informe del Programa de Monitoreo de Arrecifes de Coral de la NOAA reportó una disminución de cerca de 5 % entre 2013 y 2019, y que hubo prevalencia de blanqueamiento en el 2019. También reportaron observaciones de que la enfermedad de pérdida de tejido de coral duro (SCTLD, por sus siglas en inglés) estaba causando mortalidad rápida y acelerada[424]. Entre los estresores que afectan la calidad y distribución de los arrecifes de coral en la isla están: 1) el impacto de los huracanes, 2) alta sedimentación por descarga de ríos, 3) alta sedimentación por escorrentías de suelo expuesto sin vegetación, 3) enfermedades y 4) altas temperaturas, entre otros.

Luego del paso del huracán María, varios estudios sobre el estado de estos ecosistemas

---

418 NOAA. Coral Reef Conservation Program. (2018, December 10). National Coral Reef Monitoring Program - Status Reports. NOAA Coral Reef Information System (CoRIS) Home Page. Recuperado en línea de: https://www.coris.noaa.gov/monitoring/status_report/

419 NOAA (2011, July 5). "Medicines from the sea." *Ocean Today*. Retrieved March 27, 2023, from https://oceantoday.noaa.gov/medicinesfromthesea/

420 NOAA. Office for Coastal Management. Coral reefs. (Last Modified: 03/22/2023 a). Retrieved March 27, 2023, from https://www.coast.noaa.gov/states/fast-facts/coral-reefs.html.

421 Ídem.

422 Burke, L., & Spalding, M. (2022). "Shoreline protection by the world's coral reefs: Mapping the benefits to people, assets, and infrastructure." *Marine Policy*, 146, 105311. https://doi.org/10.1016/j. marpol.2022.105311.

423 NOAA. Coral Reef Conservation Program. (2018, December 10).

424 Edwards, K.F., J. Blondeau, L.J.W. Grove, S.H. Groves, S.D. Hile, M.W. Johnson, C. Langwiser, L. Siceloff, E.K., Towle, T.S. Viehman, and B. Williams. (2021) National Coral Reef Monitoring Program, Biological monitoring summary – U.S. Virgin Islands and Puerto Rico: 2019. NOAA Technical Memorandum NOS CRCP 40. 27 pp. doi:10.25923/fdp6-qv15.

identificaron que sufrieron daños importantes. Específicamente, los corales quedaron partidos, virados y/o arrancados de su posición original[425]. Se determinó que aproximadamente el 11 % se afectó. Los corales más afectados fueron 1) *pillar coral* (*Dendrogyra cylindrus*), 2) *elkhorn coral* (*Acropora palmata*), 3) *lobed star coral* (*Orbicella annularis*), y 4) *staghorn coral* (*A. cervicornis*), todos constructores de arrecife (*reef building*) y listados bajo el *Endangared Species Act* (ESA). Los daños variaron en intensidad por área geográfica. Los mayores daños se observaron en el noreste, incluyendo las islas de Culebra (sur de la isla) y Vieques (norte de la isla), y secciones del oeste y norte de la isla grande. En términos generales se encontró que las regiones norte, noreste (incluyendo Culebra), Vieques y el oeste presentaron aproximadamente el doble de daños, comparado con regiones del sureste y el suroeste de Puerto Rico[426]. En el 2018 se replantaron cerca de 5,400 pedazos de esos corales fragmentados; en marzo del 2019, otros 1,200 corales se replantaron en Culebra[427]. Los esfuerzos de reimplantación han continuado en conjunto con proyectos de restauración y viveros de corales. Varias iniciativas de restauración en curso incluyen: replantación de fragmentos de *A. cervicornis y A. palmata* en La Parguera, fincas *"in situ"* en Culebra y viveros "en tierra" en La Parguera y Ceiba[428]. Una iniciativa novedosa es la de utilizar arena de botellas trituradas para cementar fragmentos de *A. palmata* en el área oeste[429]. Hace varios años, en Culebra existen fincas de corales de *A. cervicornis*, que han reportado más de un 90 % de éxito de sobrevivencia[430] [431] [432] [433].

Además del impacto mecánico de los huracanes del 2017, otros estresores asociados a los eventos afectan la calidad y distribución de los corales en los arrecifes. Entre ellos: al-

[425] Federal Emergency Management Agency (FEMA), NOAA, (2018). Status of Puerto Rico's Coral Reefs in the Aftermath of Hurricanes Irma and Maria Assessment Report Submitted by NOAA to the FEMA Natural and Cultural Resources Recovery Support Function.

[426] Viehman, T.S., M. Nemeth, S.H. Groves, C.A. Buckel, S. Griffin, D. Field, T.D. Moore, J. Moore. 2020. Coral assessment and restoration in the U.S. Caribbean after 2017 hurricanes. NOAA National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science. NOAA Technical Memorandum 278. Silver Spring, MD. 64 pp. https://coastalscience.noaa.gov/news/coral-assessment-and-restoration-results-released-for-u-s-caribbean-after-2017-hurricanes/

[427] Viehman et al., 2020.

[428] Williams, S. (2022, April 20). Our efforts on coral reef restoration in Puerto Rico. I SER Caribe. https://www.isercaribe.org/coral-reef-restoration

[429] Islamar Expeditions (2022). First 100 corals planted using recycled glass sand. Isla Mar. Retrieved March 26, 2023, from https://www.islamarexp.com/post/first-100-corals-planted-using-recycled-glass-sand.

[430] Hernández-Delgado, E. A., Mercado-Molina, A. E., Alejandro-Camis, P. J., Candelas-Sánchez, F., Fonseca-Miranda, J. S., & González-Ramos, C. M. (2014). "Community-Based Coral Reef Rehabilitation in a Changing Climate: Lessons Learned from Hurricanes, Extreme Rainfall, and Changing Land Use Impacts." *Open Journal of Ecology*, 918-944.

[431] Patria I. Aponte-Marcano, Samuel E. Suleimán-Ramos, Alex E. Mercado-Molina (2023 Submitted manuscript). *Demography of the threatened coral Acropora cervicornis growing in distinct nurseries designs in Culebra, Puerto Rico.*

[432] Bayraktarov E, Banaszak AT, Montoya Maya P, Kleypas J, Arias-González JE, Blanco M, et al., (2020) "Coral reef restoration efforts in Latin American countries and territories." *PLOS ONE 15*(8): e0228477. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228477.

[433] Hernández-Delgado E, Mercado-Molina A, Suleimán-Ramos S. (2018) "Multi-disciplinary lessons learned from low-tech coral farming and reef rehabilitation practices." I. Best management practices. In: Duque-Beltrán C, Tello-Camacho E, editors. *Corals in a Changing World* in *Tech Publ*; 2018. p. 213-43.

tas precipitaciones, descargas de sedimentos en suspensión, altas temperaturas y cambios en la acidificación del agua. Los huracanes del 2017 ocasionaron altas precipitaciones que resultaron en importantes impactos en los ecosistemas costeros y bentónicos por las fuertes lluvias y descargas fluviales[434]. La calidad del agua se ha señalado como una amenaza significativa a los arrecifes de coral poco profundos en Puerto Rico[435] [436] [437]. Varios estudios locales demuestran los impactos de la sedimentación sobre la calidad y distribución de los corales en los arrecifes. Entre estos se puede mencionar el impacto de los sedimentos suspendidos en la cobertura de coral ubicados en la costa cerca de la desembocadura del Río Grande de Manatí y el Río Loco, en Yauco. Parte del aumento de la sedimentación a lo largo de las cuencas hidrográficas se asocian a actividades relacionadas con cambios de uso de terrenos, como la deforestación. Los sedimentos terrígenos inhiben el crecimiento del coral al aumentar la turbidez, reduciendo la cantidad de luz que requieren las algas que viven en simbiosis con el coral, afectan el reclutamiento (larvas que logran asentarse), bajan las tasas de crecimiento, aumentan la mortalidad y la susceptibilidad a las enfermedades ("como se citó en"[438])[439]. Un proyecto en curso tiene como objetivo el desarrollo e implementación de un programa de monitoreo de la calidad del agua en áreas de arrecifes de coral poco profundos alrededor de Puerto Rico[440]. Además, la acidificación en el océano (disminución del pH), está afectando las estructuras de los corales duros, inhibiendo la formación de las estructuras duras por el coral, que son la base del arrecife[441] [442]. Las anomalías en temperatura afectan la prevalencia de los corales, ya que al aumentar la temperatura estos expelen el alga que vive en sus tejidos causando blanqueamiento. La temperatura óptima para que los corales estén saludables

[434] Hernández-Delgado, E.A.; Ortiz-Flores, M.F. (2020) "The Long and Winding Road of Coral Reef Recovery in the Anthropocene: A Case Study from Puerto Rico." *Diversity*: 14, 804. https://doi.org/10.3390/d14100804.

[435] Connell, J.H. (1997) "Disturbance and recovery of coral assemblages." *Coral Reefs*, 16, 101–113.

[436] Hernández-Delgado, E.A.; Ortiz-Flores, M.F. (2020) "The Long and Winding Road of Coral Reef Recovery in the Anthropocene: A Case Study from Puerto Rico." *Diversity*: 14, 804. https://doi.org/10.3390/d14100804.

[437] González-Figueroa, M.C., & E.A. Hernández-Delgado. (2021). "Variación espacial en los patrones de recuperación natural de los arrecifes de coral someros urbanos en Puerto Rico". *Perspectivas en Asuntos Ambientales*, 9:90-1 https://documento.uagm.edu/cupey/perspectivas/p_perspectivas_9_2021_90-111.pdf

[438] Torres-Pérez JL, Ramos-Scharrón CE, Hernández WJ, Armstrong RA, Barreto-Orta M, Ortiz-Zayas J, Guild LS, and Viqueira R. (2021) "River Streamflow, remotely Sensed Water Quality and Benthic Composition of Previously Undescribed Nearshore Coral Reefs in Northern Puerto Rico." *Front. Mar. Sci.* 8:720712. doi:10.3389/fmars.2021.720712.

[439] Hernández-Delgado et at., 2020 (b).

[440] Development and implementation of a water quality monitoring program in shallow coral reef areas around Puerto Rico and the implementation of a "BCG" model. https://www.uprm.edu/ccri/research/development-and-implementation-of-a-water-quality-monitoring-program-in-shallow-coral-reef-areas-around-puerto-rico/#background

[441] Meléndez, M., Salisbury, J., Gledhill, D., Langdon, C., Morell, J. M., Manzello, D., Musielewicz, S., Rodríguez-Abudo, S., and Sutton, A. (2020) "Seasonal variations of carbonate chemistry at two western Atlantic coral reefs." *Journal of Geophysical Research: Oceans*, https://doi.org/10.1029/2020JC016108.

[442] Meléndez, M., Salisbury, J., Gledhill, D., Langdon, C., Morell, J. M., Manzello, D., and Sutton, A. (2022). "Net ecosystem dissolution and respiration dominate metabolic rates at two western Atlantic reef sites." *Limnology and Oceanography, 67*(3), 527-539. https://doi.org/10.1002/lno.12009.

es de 73 °F - 84 °F [443]. Se considera que las manifestaciones del cambio climático se han convertido en una de las mayores amenazas para los arrecifes de coral[444] [445].

De igual forma, se han reportado distintas enfermedades en los corales desde la década de 1980[446]. En el 2019 se identificó en Puerto Rico el primer caso documentado de la SCTLD en la costa oeste de Culebra[447], siendo de rápida propagación[448]. A partir de septiembre de 2021, continuó extendiéndose hacia el oeste de arrecife a arrecife en el norte y al sur de Puerto Rico[449]. La cobertura de coral ha disminuido significativamente en sitios donde la SCTLD está presente, con una mortalidad estimada del 50 % desde el 2019[450]. En el 2021, el DRNA estableció un plan de intervención para mitigar la SCTLD basado en aplicar un ungüento con el antibiótico amoxicilina[451]. Para agosto del 2022, se habían tratado 2,279 colonias de diferentes especies de coral y el promedio en todas las colonias y sitios marcados era de 89 %[452]. El Programa de Evaluación Rápida de Arrecifes del Atlántico y Golfo (AGRRA, por sus siglas en inglés) mantiene una página con información actualizada sobre la SCTLD que incluye a Puerto Rico[453]. Los factores mencionados, entre otros, pueden tener profundas implicaciones para la persistencia de los arrecifes de coral en Puerto Rico a largo plazo[454].

---

[443] NOAA. (2010, March 15*). What is coral bleaching?* NOAA's National Ocean Service. https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral_bleach.html#:~:text=Warmer%20water%20%20temperatures%20can%20result,This%20is%20called%20coral%20bleaching

[444] Hughes, T.P., Linares, C., Dakos, V., van de Leemput, I.A., and van Nes, E.H. (2013) "Living Dangerously on Borrowed Time during Slow, Unrecognized Regime Shifts." *Trends in Ecology and Evolution*, 28, 149-155. http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.022.

[445] Gibbs DA, West JM (2019) "Resilience assessment of Puerto Rico's coral reefs to inform reef management." *PLOS ONE 14*(11): e0224360. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224360.

[446] Weil E, Rogers CS (2011) "Coral reef diseases in the Atlantic-Caribbean." In: Dubinsky Z, Stambler N, editors. *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer, pp 465-91.

[447] Weil, E., Hernández-Delgado, E., Williams, S., Suleimán, S., Figuerola, M., & Metz-Estrella, T. (2019, December). *Reef encounter spread of the new coral disease "SCTLD" into the Caribbean: implications for Puerto Rico*. Retrieved October 6, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/342477916_REEF_ENCOUNTER_Spread_of_the_new_coral_disease_SCTLD_into_the_Caribbean_implications_for_Puerto_Rico.

[448] Lucas, Matthew & Collazo, D & Mercado, M & Fain, E & Toledo, Daniel & Weil, Ernesto (2022). "Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD) induced mass mortality at Peñón de Mera and Cueva del Indio, Arecibo, Puerto Rico." *Inter Scientific Marine Biology & Ecology* (PREPRINT).

[449] Williams SM, García-Sais J and Sabater-Clavell J (2021*)* "Prevalence of Stony Coral Tissue Loss Disease at El Seco, a Mesophotic Reef System off Vieques Island, Puerto Rico." *Front. Mar. Sci.* 8:668669. doi: 10.3389/fmars.2021.668669.

[450] Nilda Jiménez (DRNA), comunicación personal.

[451] Department of Natural and Environmental Resources. 2021. *Puerto Rico Stony Coral Tissue Loss Disease Intervention Plan*. Coral Reef Conservation and Management Program, DNER. Environmental Agencies Building Dr. Cruz A. Matos, 8th floor, Sector El Cinco, Río Piedras, San Juan.

[452] Morales, Catalina. (2022) Response to Stony Coral Tissue Loss Disease outbreak with antibiotic treatment. *Progress Report:* November 2020 to August 2022. Sea Ventures Inc. Progress report submitted to DENR.

[453] AGRRA, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment. (2021) Coral Disease Outbreak. www.agrra.org.

[454] Puerto Rico Climate Change Council (PRCCC) (2022). *Puerto Rico's State of the Climate 2014-2021: Assessing Puerto Rico's Social-Ecological Vulnerabilities in a Changing Climate*. Puerto Rico Coastal Zone Management Program, Department of Natural and Environmental Resources, NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. San Juan, PR.

Se identifican varias brechas en los esfuerzos de mitigación, adaptación y resiliencia de los arrecifes de coral en Puerto Rico. Entre estas está la necesidad de: 1) promover más monitoreos continuos para todas las áreas de arrecifes, 2) reducir las fuentes terrestres de contaminación, 3) aumentar el uso de soluciones basadas en la naturaleza (*nature-based solutions*) como alternativa para la mitigación y 4) establecer más sistemas para observar cómo se comportan los sistemas biogeoquímicos marinos (acidificación, entre otros). La adaptación y resiliencia al cambio climático deben ser una prioridad en el diseño de los proyectos de restauración. Esto significa anticipar cómo los cambios en el clima podrían afectar los arrecifes y otros ecosistemas marinos y adaptar los métodos de restauración para garantizar su efectividad a largo plazo.

#### *4.8.1.2. Hierbas marinas*

Las hierbas marinas son plantas que están adaptadas a vivir sumergidas en el mar. Conforman praderas en regiones extensas del fondo marino costero. Pertenecen al grupo de plantas vasculares con raíces acuáticas. Normalmente, en la región del Caribe las praderas se componen de las siguientes especies: hierba de tortuga (*Thalassia testudinum*), hierba de manatí (*Syringodium filiforme*), hierba de estuario (*Halodule wrightii*), hierba de lago (*Halophila decipiens*) y hierba de zanja (*Ruppia* marítima). De todas, la *Thalassia testudinum* es la común y abundante en el Caribe. De otra parte, la hierba invasora *Halophila stipulacea*, que fue reportada en Puerto Rico en el 2017[455], desplaza a especies nativas y altera el equilibrio natural del ecosistema[456] [457]. Las praderas de hierbas marinas se consideran uno de los ecosistemas costeros más comunes en Puerto Rico. Son más extensas en la costa sur y este, pero se pueden encontrar en el norte y oeste, en las áreas protegidas del oleaje fuerte. El informe del DRNA del 2001 indica que en las aguas costeras existen 278 millas cuadradas de praderas de hierbas marinas[458]. Son de gran valor en el ecosistema marino porque: 1) filtran los nutrientes y sedimentos, 2) controlan la erosión, 3) estabilizan los sedimentos, 4) proporcionan alimento y refugio para los animales marinos como manatíes y tortugas, 5) sus hojas hospedan un gran número de organismos que son consumidos por peces e invertebrados y 6) las hojas retardan la velocidad de las corrientes. Además, tienen la capacidad de capturar carbono hasta 35

[455] Ruiz, H., D. L. Ballantine and J. Sabater. 2017. "Continued Spread of the seagrass Halophila stipulacea in the Caribbean: Documentation in Puerto Rico and the British Virgin Islands." *Gulf and Caribbean Research 28*(1): SC5-SC7. Retrieved from https://aquila.usm.edu/gcr/vol28/iss1/7 DOI: https://doi.org/10.18785/gcr.2801.05.

[456] Smulders, Fee O. H., Naomi Slikboer, Marjolijn J. A. Christianen, and Jan Arie Vonk. 2023. "Battle for the mounds: Niche competition between upside-down jellyfish and invasive seagrass." *Ecology 104*(4): e3980. https://doi.org/10.1002/ecy.3980.

[457] Hernández-Delgado, E. A., Toledo-Hernández, C., Ruíz-Díaz, C. P., Gómez-Andújar, N., Medina-Muñiz, J. L., Canals-Silander, M. F., & Suleimán-Ramos, S. E. (2020, January 8). "Hurricane impacts and the resilience of the Invasive Sea Vine, *halophila stipulacea*: A case study from Puerto Rico - estuaries and coasts." SpringerLink. Retrieved April 10, 2023, from https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-019-00673-4.

[458] Ruíz, H. DRNA. (2018). Hierbas Marinas. Importancia de nuestras praderas de hierbas marinas y su relación con los arrecifes de coral. Retrieved February 20, 2023, from https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/06/Relaci%C3%B3n-de-las-hierbas-marinas-y-los-arrecifes-de-coral_H-Ruiz-HJR-Reefscapingcompressed.pdf.

veces más rápido que los bosques tropicales y, aunque solo cubren el 0.2 % del fondo marino global, absorben el 10 % del carbono del océano al año, lo que las hace una herramienta importante contra el cambio climático[459].

Los huracanes del 2017 causaron daños significativos a las comunidades de hierbas marinas de aguas someras a través de todo Puerto Rico[460]. La mayoría de los impactos documentados se asoció con la carga de sedimentos, que resultó en entierro y asfixia. También hubo perturbación física localizada del hábitat en áreas expuestas a la acción de olas fuertes, lo que creó cicatrices y dejó la estructura subterránea sujeta a una mayor desintegración por futuros eventos de tormentas. Además, un hallazgo notable fue la recuperación rápida, expansión y dominancia de la hierba invasiva *Halophila stipulacea*. Los huracanes desencadenaron un cambio localizado en la vegetación marina, favoreciendo la invasión de *H. stipulacea*, con consecuencias potencialmente significativas en la resiliencia del ecosistema y en la capacidad de las hierbas marinas nativas para persistir y adaptarse a los impactos proyectados del cambio climático. La invasión generalizada de *Halophila stipulacea* nativa del océano Índico en el Caribe oriental en combinación con la dispersión a gran escala de sargazo representan amenazas recientes a la persistencia de las hierbas nativas[461]. La Sociedad Ambiente Marino tiene proyectos activos, financiados por la NOAA, para evaluar los impactos de especies invasoras y para restaurar la continuidad de corales y hierbas marinas en áreas impactadas por huracanes en Culebra[462]. Los ecosistemas de hierbas marinas en general han sido menos estudiados que los de corales y mangles. Se recomienda establecer monitoreos y evaluaciones a largo plazo para poder establecer una base de referencia, documentar cambios, evaluar la resiliencia y establecer planes de mitigación de estos importantes ecosistemas ante el cambio climático.

#### *4.8.1.3. Humedales*

La Ley de política pública sobre los humedales en Puerto Rico define esos ecosistemas como: “un área natural saturada por aguas superficiales o subterráneas a un intervalo y duración suficiente como para sostener, y el cual bajo circunstancias normales sostiene o sostendría una vegetación típicamente adaptada a condiciones de suelos saturados, inundados o empozados”[463]. En Puerto Rico, los humedales representan parte esencial de los ecosistemas costeros. Los humedales localizados en la zona costera incluyen áreas dentro de las cuencas costeras que podrían o no estar influenciadas por la marea, y que son inundadas por agua dulce, salinas o salobres. Pueden estar saturados de agua durante todo el año, durante ciertas estaciones o durante parte del día. Estas áreas han sido grandemente impactadas a consecuencia del desarrollo turístico, comercial y urba-

[459] World Wildlife Fund WWF (2023) Planting hope - how seagrass can tackle climate change. Retrieved April 6, 2023, from https://www.wwf.org.uk/what-we-do/planting-hope-how-seagrass-can-tackle-climate-change.
[460] Hernández-Delgado et al., 2018.
[461] Hernández-Delgado et al., 2020.
[462] Sociedad Ambiente Marino (SAM) (2023, February 28). *Projects*. Retrieved April 6, 2023, from https://www.sampr.org/projects/.
[463] Ley 314-1998. Véase: https://www.drna.pr.gov/documentos/ley-num-314-de-24-de-diciembre- de-1998/.

no[464] [465]. En Puerto Rico, los tipos de humedales costeros son: acuático de agua salada (ej. praderas de hierbas marinas); llano costero de agua (ej. salitral); ciénega de agua salada (ej. áreas detrás de los manglares); pantano de agua salada (ej. manglares)[466]. Los humedales están amenazados por el desarrollo de urbanizaciones, rellenos sanitarios de residuos sólidos o vertederos (estos pueden interferir con el agua subterránea que va al humedal), canalizaciones, construcción de carreteras y marinas, proyectos agrícolas (abonos, insecticidas y herbicidas), así como por el desmonte en las zonas de captación de las cuencas hidrográficas.

Luego de los huracanes del 2017, se realizó una evaluación rápida en cinco humedales boscosos cerca de zonas urbanas o de infraestructura de importancia económica: Punta Tuna (Maunabo), Punta Santiago (Humacao), Piñones (Carolina/Loíza), Ciénaga Las Cucharillas (Cataño) y Jobos (Isabela)[467]. Se compararon cambios en el tipo de vegetación y su mortalidad con imágenes de satélite de 2010 y 2018, así como por evaluaciones en tierra. Se identificó que la mortalidad promedio de este componente costero en todos los sitios y hábitats estudiados fue de 27 %. En la Ciénaga Las Cucharillas se alteraron los tipos de vegetación debido a un cambio en el régimen hidrológico de la zona. En un estudio realizado en la ciénaga durante los dos años siguientes a los huracanes se encontró el 87 % de cobertura vegetal. Se concluyó que esa vegetación mostró resiliencia ante los efectos iniciales de los huracanes[468].

Los manglares son un tipo de bosque de plantas leñosas que se desarrollan en lagunas, riberas y en costas tropicales protegidas del oleaje. Debido a su ubicación costera están siempre en contacto con cuerpos de agua de origen marino, o en combinación con el agua que llega a través de escorrentías o por la desembocadura de los ríos. En la ZMT de Puerto Rico se pueden identificar las especies: *Rhizophora* mangle (rojo), *Avicennia germinans* (negro), *Laguncularia racemosa* (blanco) y *Conocarpus erectus* (botón). Según el Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico (CoRePI), el 28% de la línea costera isleña presenta vegetación, compuesta mayormente de manglar[469]. Este ecosistema se destaca por: 1) su alta productividad y producción de materia orgánica, 2) promueve la biodiversidad, ya que sus raíces sumergidas proveen habitáculo y refugio para una rica fauna de peces, mamíferos e invertebrados, 3) tiene un alto valor ecológico y económico, ya que actúa como criadero para muchos peces y crustáceos,

[464] Mena., L., Carrubba, L., & Torres, J. (2007, septiembre). *Guía de los reglamentos y biología para oficiales del orden público en Puerto Rico*. Caribbean Fishery Management Council.

[465] Programa de Manejo de la Zona Costanera para Puerto Rico, revisión y actualización. (septiembre de 2009). https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2021/08/PMZCPR-ingles-2009-final.pdf.

[466] DRNA. (2017). Estudio sobre la integración de estrategias para la adaptación y el desarrollo de resiliencia en la planificación de usos de terrenos. Retrieved April 6, 2023, from https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/08/Estudio-estrategias-de-adaptacion-en-la-planificacion-de-usos-de-terrenos.pdf.

[467] Branoff, B.L. “Mangrove Disturbance and Response Following the 2017 Hurricane Season in Puerto Rico.” *Estuaries and Coasts* 43, 1248–1262 (2020). https://doi.org/10.1007/s12237-019-00585-3.

[468] Hernández E, Cuevas E, Pinto-Pacheco S and Ortiz-Ramírez G (2021) “You Can Bend Me but Can’t Break Me: Vegetation Regeneration After Hurricane María Passed Over an Urban Coastal Wetland in Northeastern Puerto Rico.” *Front. For. Glob. Change* 4:752328. doi: 10.3389/ffgc.2021.752328.

[469] El Estado de las playas de Puerto Rico post-María. (2022). ArcGIS StoryMaps. https://storymaps.arcgis.com/stories/61653d2d9a1748168488235d866f3e89.

4) alberga y provee áreas de anidaje a aves residentes y migratorias, vulnerables o en peligro de extinción, 5) protege las costas contra la erosión y las marejadas ocasionadas por los huracanes, 6) atrapa sedimento y hojarasca entre sus raíces y ayuda a rellenar y recobrar terreno y 7) secuestra carbono (captura de dióxido de carbono de la atmósfera (*Blue Carbon*). Además, es espacio para la recreación pasiva y actividades turísticas[470].

Los manglares en Puerto Rico están amenazados por el dragado para la agricultura y la expansión urbana, la contaminación de las aguas residuales y la destrucción de los ecosistemas de barrera, como las dunas y los arrecifes de coral. Asimismo, se afectan por eventos extremos tales como huracanes, terremotos y anomalías en la precipitación[471]. Estudios demuestran que la pérdida de mangles a través de múltiples eventos ciclónicos se influencia por el estado previo de la costa y afecta la susceptibilidad a eventos futuros[472]. El huracán María devastó varios ecosistemas de manglares alrededor de la isla[473], ya fuera por los efectos mecánicos del viento o por los cambios hidrológicos y de salinidad[474]. En el 2018, una evaluación rápida en cinco humedales (Maunabo, Humacao, San Juan, Cataño e Isabela) mostró una mortalidad promedio en esas áreas de 53 %. Los de Isabela tuvieron el mayor de los daños, con el 95 % de mortalidad. En los de Maunabo se observó entre 68 % - 98 % del hábitat de manglar clasificado como muerto[475]. Datos satelitales y modelos de aprendizaje automático utilizados para evaluar los cambios en la extensión de los manglares en la Bahía de Jobos en Salinas entre 2010-2020 revelaron una pérdida total de 4.85 km de hábitat de manglares[476].

Existen varios esfuerzos de restauración de mangle, entre los que destacan los del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan[477]. Luego de los huracanes del 2017 comenzaron nuevos proyectos. El Centro de Restauración Ecológica y Conservación Costera Vida Marina obtuvo fondos para restaurar un total de 59 hectáreas de manglares de cuenca en tres comunidades costeras del noreste: playa Espinar, en Aguada, playa Jobos y playa *Secret Spot*, en Isabela, y la reserva natural Finca Nolla, en Camuy[478]. En conjunto con *Ocean Foundation*, en la Reserva Nacional de Investigación Estuarina de Bahía de Jobos se estableció un vivero de mangle rojo y se pretende restaurar cerca de

[470] NOAA. National Oceanographic and Atmospheric Administration. (2019, December 5). Coastal Blue Carbon. NOAA's National Ocean Service. Retrieved April 4, 2023, from https://oceanservice.noaa.gov/ecosystems/coastal-blue-carbon/.

[471] NASA DEVELOP (2022, February 7). El cambio comienza en las raíces. ArcGIS StoryMaps. Retrieved April 6, 2023, from https://storymaps.arcgis.com/stories/0842554e827742219fdc4b25414d72d7.

[472] Bhargava R and Friess DA (2022) "Previous Shoreline Dynamics Determine Future Susceptibility to Cyclone Impact in the Sundarban Mangrove Forest." *Front. Mar. Sci.* 9:814577. doi: 10.3389/fmars.2022.814577.

[473] Joosse, T. (2020), "Hurricane Maria killed mangroves months after storm." *Eos,* 101, https://doi.org/10.1029/2020EO152709. Published on 15 December 2020.

[474] Del Valle Huertas, L. Y. (2022, 28 de octubre). "Puerto Rico: El gran reto de restaurar los manglares y dunas que protegen a la isla. Noticias ambientales." *Mongabay*. Retrieved April 6, 2023, from https://es.mongabay.com/2022/10/el-reto-de-restaurar-manglares-y-dunas-en-puerto-rico/.

[475] Branoff et al., 2020.

[476] NASA DEVELOP, 2022.

[477] PEBSJ. (2022) Estuario Revive. Retrieved April 6, 2023, from https://relief.estuario.org/.

[478] Del Valle Huertas, L. Y. (2022).

695 acres, incluyendo restauración hidrológica[479]. Recientemente comenzó el dragado del Caño Martín Peña para restablecer la conexión hidráulica entre la laguna San José y la bahía de San Juan. El proyecto incluirá áreas de conservación para humedales de manglares[480]. La continuación de estos proyectos debe alinearse a monitoreos a largo plazo a través en toda la isla, para poder tener una caracterización de la distribución y diversidad del ecosistema y establecer criterios para enfrentar los efectos del cambio climático.

El deterioro de los componentes marinos y costeros, en donde se encuentran los hábitats críticos de especies de importancia comercial, puede causar un impacto importante en el recurso pesquero y, por consiguiente, en la actividad pesquera. En la isla, las pesquerías comerciales son esencialmente artesanales o en pequeña escala ya que la mayoría de ellas se realiza en el hábitat costero o sobre la plataforma insular. Las principales artes de pesca que se utilizan son: las líneas de mano, las nasas para la captura de peces de arrecifes, los llamados cajones (que son nasas modificadas de madera) para capturar langostas, las redes de agalla y los mallorquines, los palangres horizontales y verticales (a este último se le conoce como cala), la pesca de corrida o "de silga" como también se le conoce, la recolección a mano cuando se pesca carrucho (*Lobatus gigas*) y por medio de arpón o fisga utilizando equipos de buceo. Otras dos artes que algunos pescadores utilizan con frecuencia son el lazo para capturar langostas y el bichero para pulpos. Durante los últimos años se ha registrado un incremento en el número de pescadores que utilizan el buceo con arpón.

En las últimas décadas, las pesquerías locales han confrontado desafíos entre los que podemos mencionar: la contaminación de los océanos, la destrucción de habitáculos esenciales, la sobrepesca y, recientemente, los dramáticos efectos provocados por el cambio climático. En Puerto Rico no existe un plan de manejo integrado para pesquerías en aguas bajo la jurisdicción local (0-9 millas náuticas). Existe un plan para aguas bajo jurisdicción federal elaborado por el *Caribbean Fishery Management Council*[481]. Además, actualmente se está realizando un plan de manejo de pesquerías basado en ecosistemas para aguas federales. Ese tipo de plan es una forma holística de gestionar la pesca y los recursos marinos teniendo en cuenta todo el ecosistema de las especies con el objetivo de mantener los ecosistemas en una condición saludable, productiva y resistente para que puedan proporcionar los servicios que los humanos desean y necesitan. Asimismo, provee un mejor entendimiento de cómo los ecosistemas y sus componentes responden a múltiples estresores, incluyendo los causados por el cambio climático.

Desde hace varios años, las cifras de capturas muestran descensos que posiblemente se deben a una reducción en el número de pescadores y, tal vez, a la merma en los abas-

[479] Logan, M. (2022, March 24). "Advancing nature-based solutions in Puerto Rico." *The Ocean Foundation.* Retrieved April 6, 2023, from https://oceanfdn.org/advancing-nature-based-solutions-to-promote-climate-resilience-in-puerto-rico/.

[480] Environmental Protection Agency EPA. (2022, June). Ongoing Projects in Caño Martín Peña. Retrieved April 6, 2023, from https://www.epa.gov/urbanwaterspartners/ongoing-projects-cano-martin-pena.

[481] CFMC (2023). Fishery Management Plans. Caribbean Fishery Management Council. Retrieved April 6, 2023, from https://caribbeanfmc.com/fishery-management.

tos de algunas especies. Las estadísticas pesqueras en Puerto Rico no se consideran las más certeras, entre otras razones, porque muchos pescadores ya no se inscriben para las licencias[482].

#### 4.8.1.4. *Impacto del sargazo sobre los ecosistemas marinos y costeros*

Desde el 2011 se han reportado floraciones masivas de algas del género *Sargassum sp.* en el Caribe[483]. La biomasa de sargazo puede beneficiar al medioambiente en densidades moderadas, proporcionando alimento y refugio a varias especies, puede ayudar a combatir la erosión de las playas y proporciona nutrientes a los hábitats de las playas. Sin embargo, cuando la biomasa es muy alta puede tener efectos adversos: impedir la penetración de la luz, afectando a los corales y comunidades bentónicas[484]. En el mar Caribe, estas floraciones han causado enormes eventos de varamiento en las playas de toda la región[485]. Ahora está clasificada como una planta marina invasora y destructiva, ya que se ha convertido en una pesadilla continua para el turismo en toda la cuenca del Caribe[486]. Su descomposición resulta en una serie de consecuencias para los ecosistemas, de naturaleza biológica, económica y de salud[487]. Los efectos perjudiciales sobre los recursos vivos parecen ser el resultado de la reducción de la luz, el oxígeno (hipoxia o anoxia) y el pH, el aumento de altas concentraciones de amonio y sulfuro de hidrógeno y la perturbación física[488].

La entrada y acumulación de sargazo en todas las costas de Puerto Rico tiene efectos notables con cambios en la vegetación costera relacionados. Evaluaciones de 2010 a 2020 en cayos, bahías, ensenadas y ambientes cercanos a la costa en La Parguera, al suroeste, encontraron alteraciones significativas en la vegetación costera y la composi-

---

[482] Manuel Valdés Pizzini (2011). Una mirada al mundo de los pescadores en Puerto Rico: Una perspectiva global. Programa de Colegio Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico, Impresos Sea Grant.

[483] Elizabeth M. Johns, Rick Lumpkin, Nathan F. Putman, Ryan H. Smith, Frank E. Muller-Karger, Digna T. Rueda-Roa, Chuanmin Hu, Mengqiu Wang, Maureen T. Brooks, Lewis J. Gramer, Francisco E. Werner (2020). "The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long-distance dispersal event." *Progress in Oceanography*, Volume 182. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269.

[484] Van Tussenbroek, B.I.; Hernández Arana, H.A.; Rodríguez-Martínez, R.E.; Espinoza-Avalos, J.; Cañizales-Flores, H.M.; González-Godoy, C.E.; Barba-Santos, M.G.; Vega-Zepeda, A.; Collado-Vides, L. "*Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities*". *Mar. Pollut. Bull.* 2017, 122, 272–281.

[485] Mariana C. León-Pérez, Anthony S. Reisinger, James C. Gibeaut, "Spatial-temporal dynamics of decaying stages of pelagic *Sargassum* spp. along shorelines in Puerto Rico using Google Earth Engine." *Marine Pollution Bulletin,* Volume 188, 2023, 114715, ISSN 0025-326X, https://doi. org/10.1016/j.marpolbul.2023.114715.

[486] Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente, 2018.

[487] Chávez, V.; Uribe-Martínez, A.; Cuevas, E.; Rodríguez-Martínez, R.E.; Van Tussenbroek, B.I.; Francisco, V.; Estévez, M.; Celis, L.B.; Monroy-Velázquez, L.V.; Leal-Bautista, R.; et al., "Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. On the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities." *Water* 2020, 12, 2908.

[488] Rodríguez-Martínez, R.E., Medina-Valmaseda, A.E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L.V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., García-Rivas, M.C., 2019. "Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*." *Mar. Pollut. Bull.* 146, 201–205.

ción bentónica, incluidos los manglares[489]. Investigaciones en curso, estudian la calidad de agua y las comunidades zooplanctónicas asociadas al sargazo en el suroeste[490] [491]. La acumulación y subsiguiente descomposición del sargazo puede tener efectos devastadores en el hábitat crítico de especies amenazadas, con un impacto sobre los recursos pesqueros[492].

El manejo del sargazo en las costas es un gran reto. En otras regiones del Caribe utilizan equipos para intervenir antes de que llegue a la costa. Estos sistemas minimizan los impactos ecosistémicos, socioeconómicos y de salud pública[493]. El DRNA ya cuenta con un protocolo para el manejo de acumulaciones extremas de sargazo en las costas[494].

Las grandes acumulaciones de sargazo aparentan ser resultado del insumo de nutrientes al Caribe por los ríos Orinoco y Amazonas, y todo apunta a que será la nueva norma[495]. Ya a esta nueva masa de sargazo en el Atlántico se le conoce como "el gran cinturón de sargazo del Atlántico" (*The Great Atlantic Sargassum Belt)*[496]. Los efectos del cambio climático pueden magnificar la proliferación y consecuencias de estas acumulaciones[497].

### 4.8.2. Erosión costera

La erosión costera es un proceso natural que se transforma en un problema cuando los materiales sedimentarios producidos por eventos naturales y antropogénicos no regresan a la franja costera, especialmente playas. Eventos naturales como los huracanes, las marejadas asociadas a sistemas ciclónicos diversos, marejadas invernales, descargas de ríos y la presencia de cañones submarinos tienen la capacidad de mover fuera del sistema costero grandes cantidades de sedimentos que alimentan las playas. Las

---

[489] William J. Hernández, Julio M. Morell & Roy A. Armstrong. 2022. "Using high-resolution satellite imagery to assess the impact of *Sargassum* inundation on coastal areas." *Remote Sensing Letters*, 13:1, 24-34, DOI: https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1981558.

[490] Para la Naturaleza. (2021). La NASA otorga subvención al RUM para investigar sargazo con tecnología satelital. Retrieved April 6, 2023, from https://www.paralanaturaleza.org/la-nasa-otorga-subvencion-al-rum-para-investigar-sargazo-con-tecnologia-satelital/.

[491] Comunicación personal Áurea E. Rodríguez, 2023.

[492] NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory-AOML. Communications (2021, August 16). Chasing *sargassum*: New insights on coastal *Sargassum* invasions. NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory. Retrieved April 10, 2023, from https://www.aoml.noaa.gov/chasing-sargassum/.

[493] Ricardou, F.-X. (2022, March 29). "The sargaboat, a solution to clean up the massive arrival of *Sargassum*." *Boating* Culture, BoatsNews.com. Retrieved April 6, 2023, from https://www.boatsnews.com/story/39832/the-sargaboat-a-solution-to-clean-up-the-massive-arrival-of-sargassum.

[494] Véase el *Protocolo para el manejo de acumulaciones extremas de sargazo en las costas de Puerto Rico, 2023*: https://www.drna.pr.gov/documentos/protocolo-sargazo-drna-2023/.

[495] León-Pérez et al., 2023.

[496] Smallman, D. (2022). What is the Great *Sargassum* Belt? Seaweed Generation. Retrieved April 6, 2023, from https://www.seaweedgeneration.com/education/what-is-the-great-sargassum-belt.html.

[497] Rafael Aquino, Carlos Noriega, Angela Mascarenhas, Mauricio Costa, Sury Monteiro, Leandro Santana, Iranilson Silva, Yuri Prestes, Moacyr Araujo, Marcelo Rollnic, "Possible Amazonian contribution to *Sargassum* enhancement on the Amazon Continental Shelf." *Science of The Total Environment*, Volume 853, 2022, 158432, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158432.

actividades antropogénicas asociadas al cambio de uso de terrenos, descargas de sedimentos suspendidos y la presencia de estructuras rígidas, entre otros, afectan también la estabilidad del sistema costero. La pérdida de los servicios de las barreras naturales es uno de los eventos que se identifica como causa de erosión en playas y costas elevadas. Estudios realizados por CoRePI, adscrito a la Escuela Graduada de Planificación de la UPR, Recinto de Río Piedras, indican que la isla presentó eventos de erosión y acreción de diversas magnitudes (baja, moderada y alta) a lo largo de las diversas playas entre los años 2017 y 2018[498] . De 29,895 transectos de ancho de playa medidos a lo largo de la franja costera, se encontró que el 42 % de estas localidades presentó algún tipo de erosión y el 58 % presentó ganancia de ancho de playa, inmediatamente luego del paso del huracán María. A diez meses del huracán, en julio 2018, se identificó que el 60 % de los 29,895 transectos estudiados presentaron acreción y el 40 % erosión. Es importante señalar que parte de la acreción o ganancia de ancho de playa identificada se produce por: 1) ganancia de ancho de playa por depósitos nuevos (*overwash*; depósitos ribereños); y 2) ganancia de ancho de playa por la migración de la línea de agua y la parte detrás de la playa hacia tierra adentro. En muchos casos, la migración de la playa hacia tierra adentro ocurrió en zonas donde no había estructuras duras, lo cual permitió la movilidad de los sedimentos tierra adentro. Esta movilidad de depósitos de sedimentos costeros tierra adentro no se observó en las secciones de costas playeras donde había presencia de estructuras duras ubicadas en la línea de agua o áreas cercanas.

Entre los municipios que presentaron mayor problema de erosión en secciones de playas para septiembre del 2017 están: Vieques, Arecibo, Loíza, Isabela, Culebra, Luquillo, Ponce, Hatillo, Cabo Rojo, Manatí, Patillas y Santa Isabel. Este aumento en erosión se relaciona con variables naturales y antropogénicas como son la ocurrencia de marejadas asociadas a eventos extratropicales y frentes de frío, aumento del nivel del mar, deterioro de las barreras naturales por la alta sedimentación transportada por los ríos, cambios en la ordenación y uso del terreno e instalaciones de estructuras rígidas en la línea costera. El huracán María provocó que la mayoría de las playas perdieran elevación y se redujera el ancho de playa en secciones costeras del noroeste, norte-central y sureste[499]. Los cambios morfológicos costeros ocurrieron mayormente por la combinación del evento de la marejada ciclónica (nivel de inundación de 1.8 a 2.74 m al este), el estado de marea alta y el oleaje asociado al huracán (1.5 a 6.0 metros de altura)[500]. Este impacto incrementó en zonas costeras afectadas por actividades antropogénicas. A un año del paso del huracán, varias secciones de playas experimentaron erosión. La mayor erosión se detectó en secciones de las costas de Vieques, Culebra, Isabela, Loíza, Luquillo, Patillas, Humacao, Dorado, Ponce y Yabucoa. Para este período, fue la primera vez que se identificó un evento de erosión importante en el sur y sureste, específicamente en Santa Isabel, Guayama y Patillas. Este evento pudiera estar relacionado con la pérdida de barreras naturales como mangles, hierbas marinas y arrecifes en la zona luego del paso del huracán María.

[498] Barreto Orta, 2022.
[499] Barreto Orta, M., Méndez-Tejeda, R., Rodríguez, E., Cabrera, N., Díaz, E., Pérez, K. 2019. “State of the beaches in Puerto Rico after Hurricane Maria (2017).” *Shore and Beach*, V. 87, N.1, p. 16-23.
[500] National Weather Service, 2017.

Uno de los hallazgos más relevantes sobre el estado de las playas que se identifica es la migración de la línea de costa y unidades de playas tierra adentro en varias secciones costeras. Aproximadamente 99 kms de línea de costa presenta migración tierra adentro a lo largo de los 44 municipios costeros. Los municipios con mayor migración de línea de costa tierra adentro son Vieques (19 kms), Cabo Rojo (5.3 kms), Arecibo (4.8 kms), Humacao (4.4 kms), Isabela (3.5 kms), Vega Baja (3.5 kms), Fajardo (3,3 kms), Luquillo (2.9 kms), Loíza (2.6 kms) y Hatillo (2.6 kms). La implicación del movimiento de línea de agua tierra adentro es el aumento de exposición de la zona costera a inundaciones ante nuevos eventos. Por otro lado, aproximadamente 58 kms de costa presentan migración de playas tierra adentro. La migración de playa consiste en el movimiento tierra adentro de la unidad geomórfica de la playa a partir del desplazamiento de la línea de costa y parte detrás de la playa. Los municipios incluidos en este estudio que presentaron mayor migración de playas para dicho período son: Vieques, Humacao, Hatillo, Mayagüez, Aguada, Arecibo, Camuy e Isabela. El movimiento de playa tierra adentro podría delinear una nueva delimitación de la ZMT.

Además, se identificó erosión en secciones de playas adyacentes a estructuras rígidas en la mayoría de los municipios. Muchas de estas son estructuras de mitigación como rocas, gaviones y paredes de concreto. Esto sugiere que las estructuras rígidas identificadas a lo largo de la línea de costa de las áreas de estudio podrían tener un impacto o control en los procesos de erosión/acreción de las playas. Los municipios con más estructuras rígidas de mitigación en sus franjas de costas para el 2018 eran: San Juan (64%), Rincón (33 %), Humacao (32 %), Aguadilla (18 %) y Arecibo (13 %).

Otros atributos importantes de la línea costera identificados para la isla son la ubicación de estructuras en la parte detrás de la playa (50.89 km), estructuras ubicadas en la línea de agua (199.01 km) y estructuras de mitigación duras (47.53 km). Las estructuras duras de mitigación identificadas mayormente en la línea de agua son las estructuras de rocas (*rip-raps*/35.33 km de la costa) y las paredes de concreto (7.40 km). No hay duda de que el conocer en detalle el estado de erosión costera y los atributos costero es vital para identificar las prioridades para atender este problema, especialmente en comunidades con alta vulnerabilidad social que en muchos casos han estado en la invisibilidad por años.

### 4.8.3. Inundaciones costeras

Puerto Rico está expuesto a eventos de inundaciones costeras que tienen la capacidad de impactar la seguridad de la población e infraestructura que se ubica en la franja costera. Estas inundaciones pueden ser producidas por marejadas asociadas a sistemas ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes, marejadas de invierno y marejada ciclónica, entre otros. Diversos estudios anticipan que el alcance de las inundaciones costeras empeorará por el cambio climático[501] [502]. El aumento del nivel del mar puede

[501] Storlazzi, C.D., Reguero, B.G., Viehman, T.S., Cumming, K.A., Cole, A.D., Shope, J.A., Groves, S.H., Gaido L., C., Nickel, B.A., and Beck, M.W., 2021, *Rigorously valuing the impact of Hurricanes Irma and Maria on coastal hazard risks in Florida and Puerto Rico*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1056, 29 p. https://doi.org/10.3133/ofr20211056.

[502] Collini, R.C., J. Carter, L. Auermuller, L. Engeman, K. Hintzen, J. Gambill, R.E. Johnson, I. Miller, C.

elevar la magnitud y frecuencia de las inundaciones costeras causando daños mayores en menos tiempo. Los efectos de la ocurrencia de estos nuevos eventos deben ocupar a los tomadores de decisiones en generar estrategias proactivas que ayuden a reducir la exposición de la población y la infraestructura en el presente.

Además, el impacto de las inundaciones costeras puede incrementar cuando se reduce la capacidad y el servicio de amortiguación que ofrecen las barreras naturales costeras como los arrecifes de coral, depósitos de arenas, playas y dunas en la costa. Por ejemplo, recientemente, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) indicó que los arrecifes de coral son una de las primeras líneas de defensa de la costa ante el impacto de marejadas relacionadas con sistemas ciclónicos. Estas tienen la capacidad de disipar la energía de la ola hasta un 97 %[503]. Se muestra que la degradación de los arrecifes de coral puede traer consecuencias importantes sobre la integridad de la población e infraestructura. También se indica que el daño en los arrecifes de coral producidos por los huracanes Irma y María aumentó el riesgo por inundación anual, por $178 millones anuales para Puerto Rico. De acuerdo con este estudio, las secciones de costas donde pueden ocurrir los daños mayores al aumentar el riesgo anual de inundaciones debido al impacto de los arrecifes de coral causado por los huracanes Irma y María se localizan en la costa de San Juan-Carolina, Mayagüez, Aguadilla, Rincón, Guayanilla y Arecibo-Hatillo.

El USGS tiene una herramienta cartográfica donde presenta los resultados del modelaje de alcance de inundación en escenarios antes y después de ambos huracanes en escenario de daños de los arrecifes de coral[504]. Los resultados de este modelo demuestran que, en muchas áreas de la isla, el alcance de la inundación costera proyectado es mayor en condiciones de deterioro de los arrecifes de coral luego del huracán. San Juan, Carolina, Añasco, Mayagüez, Salinas, Vega Baja, Vega Alta y Manatí son algunos de los municipios que presentan secciones de costas donde podría haber mayor alcance de inundaciones en eventos futuros debido al deterioro de los arrecifes de coral luego del paso de los huracanes del 2017.

Por otro lado, los estudios de Storlazzi et al. (2021) presentan proyecciones de reducción de inundaciones costeras a medida que se restauren los arrecifes de coral que fueron afectados por los huracanes. Se indica que, a través de la restauración de corales, Puerto Rico puede prevenir más de $40 millones en daños en la costa por inundaciones.

Otros componentes que hay que evaluar cuando se habla de los impactos de las inundaciones costeras es el efecto cascada y acumulativo de estos eventos. El continuo impacto de las inundaciones sobre la franja costera reduce el umbral geomórfico de tal modo que eventos de inundaciones de menor magnitud y mayor frecuencia podrían producir daños en la infraestructura similar a eventos de mayor magnitud. También hay que considerar el impacto de eventos co-sísmicos asociados al terremoto de enero del 2020

Schafer, and H. Stiller. 2022. *Application Guide for the 2022 Sea Level Rise Technical Report*. National Oceanic and Atmospheric Administration Office for Coastal Management, Mississippi–Alabama Sea Grant Consortium (MASGP-22-028), and Florida Sea Grant (SGEB 88). https://www.cakex.org/documents/application-guide-2022-sea-level-rise-technical-report.

503 Storlazzi et al., 2021.

504 Cumming et al., 2021.

y modificaciones del territorio sobre el alcance de inundaciones ante nuevos eventos. El hundimiento del terreno luego de la ocurrencia del terremoto de 2020 podría influenciar sobre el alcance de inundación en secciones costeras[505]. La NOAA desarrolla continuamente herramientas cartográficas consultivas que ayuden a visualizar el alcance de inundaciones costeras que permitan planificar y hacer preparaciones ante nuevos eventos, especialmente ante las manifestaciones del cambio climático[506].

## 4.9. Ecosistemas terrestres

### 4.9.1. Impacto del cambio climático: Ecosistemas y biodiversidad

El informe más reciente sobre el índice de reducción de especies a nivel mundial[507] establece que, desde el 1970, las poblaciones de mamíferos, aves, peces, reptiles y anfibios han disminuido en un 68 % en promedio a escala global. La región del Caribe y América Latina es la de mayor pérdida con un 94 %. Este índice monitorea casi 21,000 poblaciones que representan a 4,392 especies de vertebrados. En cuanto a la diversidad vegetal, el informe indica que el número documentado de plantas extintas es el doble que la de los mamíferos, aves y anfibios juntos. Una muestra de miles de especies representativas de la variedad taxonómica y geográfica de la biodiversidad vegetal global muestra que una de cada cinco especies (22 %) está en amenaza de extinción, la mayoría en zonas tropicales[508]. Esto es de gran preocupación, ya que estos organismos representan la base productora de los ecosistemas terrestres y, por consiguiente, tiene efectos directos en la productividad, funcionamiento y servicios ecosistémicos.

Las principales causas para la degradación de ecosistemas y la pérdida de biodiversidad incluyen prácticas insostenibles sumadas a los efectos del cambio climático sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Esta combinación promueve la fragmentación del hábitat y variaciones en los condicionantes abióticos de los ecosistemas, tales como: la temperatura ambiental, patrones de precipitación, disponibilidad de agua y composición edáfica, entre otros[509] [510] [511]. Los cambios en los usos de la tierra, la modificación de patrones hidrológicos, el efecto de contaminantes, entre otros, exacerban

[505] Pérez-Valentín, K.; Barreto-Orta, M.; Castro, A.; Montañez-Acuña, A. and Cabrera-Valentín, N. 2021. "Revealing geomorphic changes after the occurrence of a seismic event on the south coast of Puerto Rico." *Shore and Beach*. Vol. 89, No. 1, Winter 2021.

[506] Véase: https://coast.noaa.gov/digitalcoast/stories/cfem-pr.html.

[507] WWF (2020). Informe Planeta Vivo 2020: Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad. Resumen. Almond, R.E.A., Grooten M. y Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Suiza.

[508] WWW, 2020.

[509] Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink (2000). *Wetlands,* 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 2000, NRCS. National Resource Inventory: Background and Highlights. USDA-NRCS, Washington, D.C.

[510] Feng, X., Uriarte, M., González, G., Reed, S., Thompson, J., Zimmerman, J. K., & Murphy, L. (2018). Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling. *Global change biology, 24*(1), 213-232. https://doi.org/10.1111/gcb.13863.

[511] Farber S., Costanza R., Childers D., Erickson J. & Gross K., et. al, (2006). "Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management." *BioScience*, 56,2,121-133.*San Juan, Puerto Rico. Herndon, VA: American Water Resources Association: 193-198.*

los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres[512] [513] [514]. En Puerto Rico, la historia de usos de la tierra ha demostrado que la actividad agrícola, el desarrollo industrial y la expansión urbana han promovido alteraciones en las condiciones ambientales de los ecosistemas, la fragmentación de los hábitats y la deforestación de extensas áreas de bosques[515]. Estos impactos sumados a los efectos del cambio climático promueven procesos de retroalimentación que afectan directamente la estructura y función de los ecosistemas terrestres[516]. En áreas costeras de Puerto Rico, donde la expansión urbana es mayor, el incremento en las temperaturas entre 1.8 a 3.6 ºF por la influencia de estructuras urbanas induce cambios en los patrones de precipitación y temperatura en ecosistemas circundantes y de mayor elevación, generando a su vez modificaciones en las dinámicas hidrológicas, cambios en la estructura y composición de los suelos y alteraciones en la distribución de las especies[517].

Ecológicamente, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas está determinada por la influencia del clima, su dinámica hidrológica, las características edáficas y geológicas y la diversidad de especies[518] [519] [520]. Las manifestaciones del cambio climático y los escenarios proyectados para la región del Caribe y Puerto Rico, discutidos en el capítulo 3 y en la sección 4.14 de este capítulo, modifican los rangos de temperatura diurna y los patrones de precipitación y fomentan la prevalencia de condiciones secas y el desarrollo de eventos naturales intensos como huracanes, inundaciones e incendios forestales, entre otros[521] [522]. Estudios desarrollados en el Bosque Nacional El Yunque –ecosistema de tipo bosque tropical lluvioso y perteneciente a la red nacional de bosques experi-

[512] Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Peña-Villacreses, G., de Lima, A., & Herrera-Franco, G. (2022). "Land Use and Land Cover in Tropical Forest: Global Research." *Forests*, *13*(10), 1709.

[513] Kayitesi, N. M., Guzha, A. C., & Mariethoz, G. (2022). "Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology-a review of research studies in tropical regions." *Journal of Hydrology*, 128702.

[514] Ehrenfeld J.G. (2000). "Evaluating wetlands within an urban context." *Urban Ecosystems*, 4, 69-85.

[515] Seguinot Barbosa, J. (1996). "La ecología urbana de San Juan (una interpretación geográfica- social)". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 16,161- 184.Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense, Madrid, España.

[516] Campbell, J. L., Driscoll, C. T., Jones, J. A., Boose, E. R., Dugan, H. A., Groffman, P. M., ... & Zimmerman, J. K. (2022). "Forest and freshwater ecosystem responses to climate change and variability at US LTER sites." *BioScience*, *72*(9), 851-870.

[517] Scatena, F. N. (1998). An assessment of climate change in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. In: Segarra-García, RI, editor. Proceeding tropical hydrology and Caribbean water resources, Third international symposium on tropical hydrology and Fifth Caribbean Islands water resources congress.

[518] Lambs L., Bompy F., Imbert D., Corenblit D. & Dulormne M. (2015). "Seawater and Freshwater Water Circulations through Coastal Forested Wetlands on a Caribbean Island." *Water*, 7, 4108-4128; doi: 10.3390/w7084108.

[519] Cardona-Olarte, P., Krauss K. & Twilley, R.R. (2014). "Leaf Gas Exchange and Nutrient Use Efficiency Help Explain the Distribution of Two Neotropical Mangroves under Contrasting Flooding and Salinity." *International Journal of Forestry Research*, 2013, 1-10. http://dx.doi.org/10.1155/2013/524625.

[520] Chapin III, F.S., Matson, P.A. & Mooney, H.A. (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag, Stanford, CA.

[521] Campbell et al., 2022.

[522] Van Beusekom, A. E., González, G., & Rivera, M. M. (2023). "Tropical Forest Microclimatic Changes: Hurricane, Drought, and 15–20 Year Climate Trend Effects on Elevational Gradient Temperature and Moisture." *Forests*, *14*(2), 325.

mentales bajo el programa *Long Term Ecological Research* (LTER) del Servicio Forestal Nacional de los Estados Unidos– han demostrado que la disminución de los eventos de lluvia y la prevalencia de períodos secos altera las dinámicas hidrológicas del ecosistema limitándose las entradas de agua dulce y, por consiguiente, la disponibilidad de agua en los suelos[523]. Por su parte, el incremento en las temperaturas promueve condiciones de estrés térmico, cambios en parámetros químico/físicos de los suelos y modificaciones en los gradientes de temperatura y precipitación altitudinal, trayendo como consecuencia alteraciones en la composición y distribución de las especies[524] [525]. Análisis microclimáticos por los pasados 20 años en los que se han considerado eventos extremos del clima –como los huracanes Irma y María y sequías intensas como la ocurrida en el 2015– sugieren que, en efecto, este tipo de ecosistema ha experimentado cambios en sus gradientes ambientales, en sus patrones de precipitación y temperatura y en la disponibilidad de agua en los suelos, promoviendo modificaciones en la composición de las especies, que en muchos casos son únicas de estos hábitats[526].

En ecosistemas de bosque seco y de características cársicas, como el Bosque Seco de Guánica, se ha demostrado la dependencia de la recarga de los acuíferos con los eventos de precipitación y su impacto en las comunidades vegetales. La limitación de los eventos de lluvia tiene un efecto directo en la recarga de los acuíferos, los cuales representan un recurso hídrico importante en estos ecosistemas y para las comunidades vegetales, en especial en las épocas secas[527]. Por lo tanto, la prevalencia de un clima cada vez más seco limita la recarga de acuíferos y genera escenarios de estrés hídrico más intensos sobre los organismos asociados a estos ecosistemas en Puerto Rico[528]. Las tendencias de cambios en nuestros ecosistemas terrestres son evidentes y también incluyen impactos en nuestros sistemas agroforestales y en nuestros ecosistemas marinos y costeros, cuyas tendencias de cambios se abordan en las secciones 4.6 y 4.8 de este capítulo. Por lo tanto, los impactos a la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas, las modificaciones en sus condicionantes abióticos y los cambios en la composición de las especies se relacionará directamente con los efectos combinados del cambio climático y las modificaciones del hábitat a consecuencia de la actividad antropogénica.

Como se ha resaltado, el cambio climático modifica las condiciones ambientales a nivel del ecosistema y los condicionantes abióticos, los cuales interaccionan con los diversos organismos (Ilustración 50). Tales modificaciones pueden generar escenarios de estrés ambiental, en especial, sobre aquellas especies que se encuentran amenazadas y en peli-

[523] McDowell, W. H., Leon, M. C., Shattuck, M. D., Potter, J. D., Heartsill-Scalley, T., González, G., ... & Wymore, A. S. (2021). "Luquillo experimental forest: Catchment science in the montane tropics." *Hydrological processes*, *35*(4), e14146.

[524] Willig, M. R., Presley, S. J., Bloch, C. P., Castro-Arellano, I., Cisneros, L. M., Higgins, C. L., & Klingbeil, B. T. (2011). "Tropical metacommunities along elevational gradients: effects of forest type and other environmental factors." *Oikos*, *120*(10), 1497-1508.

[525] Scatena,1998.

[526] Van Beusekom et al., 2023.

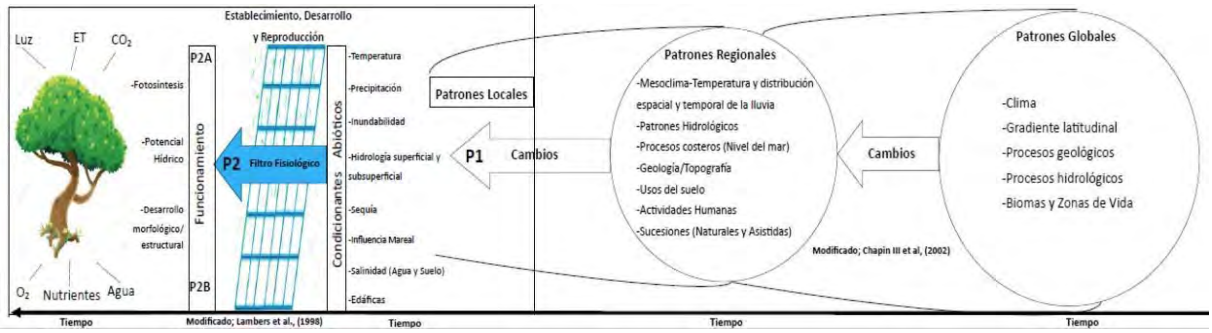
[527] Govender, Y., Cuevas, E., Sternberg, L. D. S., & Jury, M. R. (2013). "Temporal variation in stable isotopic composition of rainfall and groundwater in a tropical dry forest in the northeastern Caribbean." *Earth Interactions*, *17*(27), 1-20.

[528] Govender et al., 2023.

gro de extinción[529] [530]. Considerando este aspecto ecológico, el incremento de condiciones estresantes afecta la tolerancia y la capacidad de aclimatación de los organismos, su fisiología y el comportamiento del individuo durante sus fases de crecimiento, reproducción y establecimiento en el hábitat[531] [532]. La tolerancia de un organismo se refiere a la resistencia que puede presentar un individuo a condiciones estresantes al mantener su funcionamiento fisiológico[533] [534]. Por lo tanto, la tolerancia que presenta un organismo determina el rango de condiciones ambientales en el cual el mismo puede persistir y sobrevivir. En este aspecto, científicos han encontrado que el aumento en las temperaturas del ambiente modifica el tamaño corporal de nuestros coquíes y por consiguiente el tono del canto de estos organismos[535]. Los anfibios muestran una gran sensibilidad a cambios en temperatura y humedad y una forma de tolerar y aclimatarse a estas condiciones es modificando su tamaño corporal, lo cual repercute en la forma en como cantan[536]. Como medida de adaptación y resiliencia al cambio climático es importante fomentar el desarrollo de estudios que se enfoquen en determinar cómo los cambios ambientales que experimentan nuestros ecosistemas afectan la tolerancia de nuestras especies y su sobrevivencia.

**Ilustración 50.**

*Modelo conceptual que relaciona la estabilidad y sobrevivencia de un organismo en función de condicionantes abióticos a nivel de ecosistema*




Estos condicionantes abióticos se modifican a su vez por cambios que se generan en los patrones climáticos a escala regional y global (Rivera-De Jesús & Rivera-Ocasio, 2022).

[529] Rivera-De Jesús, W.O. & Rivera-Ocasio, E. (2022). "Tolerance and recuperation capacity of tropical native tree species to hydric and saline stress: An experimental approach for wetlands rehabilitation." *Wetland Science & Practices*. *40*(1), 51-59.

[530] Lambs et al, 2015.

[531] Schaefer, H. C., Jetz, W., & Böhning-Gaese, K. (2008). "Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus adaptation." *Global Ecology and Biogeography, 17*(1), 38-49.

[532] Scatena, 1998.

[533] Lambers H., Stuart-Chapin III F. & Pons T.L. (2008). *Plant Physiological Ecology*. 2nd ed. Springer-Sciences. New York, N.Y.

[534] Osmond C.B, et al., (1987). "Stress Physiology and the Distribution of Plants." *BioScience*, *37*(1),38-48.

[535] Narins, P. M., & Meenderink, S. W. (2014). "Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *281*(1783), 20140401.

[536] Ídem.

La zona del Caribe es una de las regiones del mundo particularmente vulnerable a las amenazas del cambio climático por la alta riqueza de su biodiversidad y por el nivel de endemismos que posee[537]. Puerto Rico se destaca por su gran variedad de ecosistemas terrestres con características ambientales únicas, que alberga una alta diversidad de especies de flora y fauna endémica y nativa. Puerto Rico está en el epicentro (*hotspot*) de biodiversidad del Caribe[538], región reconocida internacionalmente por su alta riqueza de especies y tasa de endemismo. La isla cuenta con una diversidad vegetal que incluye cerca de 3,126 especies de plantas con semillas y es el hábitat de 426 especies de vertebrados terrestres, incluyendo 360 especies nativas, muchas de ellas endémicas de la isla o de la región del Caribe[539] [540]. En cuanto a ecosistemas, se pueden destacar los bosques lluviosos, húmedos y secos, ecosistemas marinos/costeros, humedales, ecosistemas asociados a las zonas del karso (cuevas, acuíferos y mogotes, entre otros), ecosistemas de agua dulce asociados a cuencas hidrográficas y arrecifes de coral[541] [542]. Considerando que los modelos de cambio climático para la región del Caribe y Puerto Rico establecen un aumento acelerado en el nivel del mar, períodos más frecuentes y prolongados de sequía, y cambios en la intensidad, frecuencia y distribución de los eventos de lluvia, urge conocer cómo las condiciones ambientales en nuestros ecosistemas terrestres están cambiando y qué impacto ejercen estas modificaciones sobre nuestra biodiversidad. También, es importante evaluar cómo las modificaciones ambientales en nuestros hábitats y ecosistemas favorecen la colonización y expansión de especies exóticas que invaden nichos importantes de la flora y fauna autóctona trayendo como consecuencia su desplazamiento o, por otro lado, cómo algunas de estas especies –como es el caso del Tulipán africano (*Spathodea campanulata*)– mejoran la calidad de los hábitats promoviendo la expansión de muchas de nuestras especies de flora y fauna y la expansión de bosques. Estudios sobre los impactos de las especies exóticas en las islas del Caribe han demostrado que los cambios en las temperaturas del ambiente fomentan la expansión de estas especies una vez son introducidas a la flora y fauna local, provocando alteraciones en las estructuras tróficas de los ecosistemas, reducciones en las especies nativas y hasta impactos a las cosechas que generan pérdidas económi-

[537] Sekercioglu, Ç.H., Primack, R.B., & Wormworth, J., (2012), "The effects of climate change on tropical birds." *Biological Conservation*, 148(1), 1-18.

[538] Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities." *Nature*, *403*(6772), 853-858.

[539] Joglar, R. (2005). *Biodiversidad de Puerto Rico: Vertebrados Terrestres y Ecosistemas*. Serie de Historia Natural. San Juan, PR, EE.UU.: Editorial Instituto de Cultura Puertorriqueña. 563 p.

[540] Gould, W.; Alarcón, C.; Fevold, B.; Jiménez, M.; Martinuzzi, S.; Potts, G.; Quiñones, M.; Solórzano, M.; Ventosa, E. (2008). The Puerto Rico Gap Analysis Project Volume 1: Land cover, vertebrate-species distributions, and land stewardship. General Technical Report. Río Piedras, PR: International Institute of Tropical Forestry, U.S. Forest Service-Department of Agriculture, USA. 39 p.

[541] Castro-Prieto, Jessica; Gould, William A.; Ortiz-Maldonado, Coralys; Soto-Bayó, Sandra; Llerandi- Román, Ivan, Gaztambide-Arandes, Soledad; Quiñones, Maya; Cañón, Marcela; Jacobs, Kasey R. (2019). Inventario detallado de áreas protegidas y otros mecanismos de conservación en Puerto Rico. Gen. Tech. Report IITF-GTR-50. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.

[542] Miller, G. & Lugo, A. (2009). Guide to the Ecological Systems of Puerto Rico, U.S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report IITF-GTR-35.

cas importantes[543] [544]. Considerando estos aspectos, es necesario desarrollar estudios y monitoreos ambientales actualizados para evaluar parámetros poblacionales en las especies, las variaciones en condiciones abióticas de los ecosistemas y el impacto de estos cambios en la diversidad de especies de flora y fauna, principalmente en las especies vulnerables.

#### *4.9.1.1 Importancia de la biodiversidad*

La biodiversidad promueve la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas, y provee, a su vez, bienes necesarios como alimento, agua y oxígeno. Este importante recurso proporciona materias primas que favorecen el desarrollo económico, fuentes de energía que se utilizan como combustible y paisajes que se pueden disfrutar como bien cultural y patrimonial. Por ejemplo, el desarrollo de fármacos cuenta con una gama de productos de origen natural. Además, un amplio sector de la población utiliza plantas locales como forma principal de medicación[545]. Cerca del 40 % de la actividad económica mundial y el 80 % de las provisiones para atender las necesidades en comunidades pobres se derivan directamente de recursos asociados a la biodiversidad. Por esto también, la conservación de las especies y de los ecosistemas es tan importante pues contribuye a la seguridad alimentaria, la lucha contra el hambre, la pobreza y la desigualdad social, elementos claves de la justicia climática. A consecuencia de la pérdida de biodiversidad, la organización *Conservation International* (2018) advierte que las industrias de alimento, comercio forestal y ecoturísticas podrían perder cerca de $338,000 millones anuales a consecuencia de la pérdida de biodiversidad.

Tomando en consideración estos aspectos, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas incluyen atender la pérdida de la biodiversidad mediante proyectos de rehabilitación enfocados en el manejo eficiente de los recursos naturales, combatir las amenazas del cambio climático, conservar la diversidad biológica y proteger los ecosistemas críticos. El desarrollo sostenible contempla el crecimiento económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de los recursos que nos provee la naturaleza a corto y largo plazo[546]. Desarrollar un balance entre elementos sociales, económicos y ambientales es el reto que nos impone la sostenibilidad. Considerando estos objetivos, las propuestas para la conservación de los ecosistemas y de las especies deben incluir metas para atender la desigualdad social, erradicar la pobreza, promover la producción y consumo responsable y atender la vida en los ecosistemas terrestres y marinos. Cabe resaltar que la restauración y rehabilitación efectiva de ecosistemas y de su biodiversidad pre-

[543] Graham, N. A. J., Wilson, S. K., Carr, P., Hoey, A. S., Jennings, S., & MacNeil, M. A. (2018). “Seabirds enhance coral reef productivity and functioning in the absence of invasive rats.” *Nature*, 559, 250–253.

[544] Bodey, T. W., Angulo, E., Bang, A., Bellard, C., Fantle-Lepczyk, J., Lenzner, B., & Courchamp, F. (2023). “Economic costs of protecting islands from invasive alien species.” *Conservation Biology*, *37*(2), e14034.

[545] Martín-López B., González J.A., Díaz S., Castro I. & García-Llorente M. (2007). “Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional”. *Ecosistemas*, *16*(3), 69-80.

[546] Brundtland, G. (1987). Informe: Nuestro futuro común. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo: Asamblea #83 de las Naciones Unidas.

senta grandes retos, ya que las condiciones climáticas actuales establecen una nueva realidad ecológica que puede complicar la efectividad de estas iniciativas.

### 4.9.2. Especies amenazadas y en peligro de extinción en Puerto Rico

En Puerto Rico, la Ley de Vida Silvestre (Ley 241-1999) habilita al DRNA para aplicar los mecanismos en ley con el propósito de proteger, conservar y fomentar las especies de vida silvestre tanto nativas como migratorias de Puerto Rico, entre otras disposiciones. La ley define las especies vulnerables o en peligro de extinción como aquellas cuyos números poblacionales son tales que a juicio del secretario(a) del DRNA requieren especial atención para asegurar su perpetuación en el tiempo y en el espacio físico donde existen y que se designen las mismas mediante reglamento.

A tales efectos, el reglamento DRNA 6766 –Reglamento para regir las especies vulnerables y en peligro de extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico– establece los mecanismos para designar una especie como vulnerable y/o en peligro de extinción, establecer los criterios para la designación de hábitat crítico, regular el manejo de estas especies, establecer planes de recuperación, procesos para la adquisición de hábitat y, a su vez, proveer una lista de especies en peligro de extinción y de hábitats críticos. El reglamento expone criterios cuantitativos tomando en cuenta la reducción en la densidad poblacional de la especie, mediante observación directa e inferida o al aplicar índices de abundancia en un rango de tiempo de 10 años o más. Según los datos de abundancia o de densidad poblacional disponibles, se establecen las siguientes categorías para clasificar las especies como: en Peligro crítico (CR-80 % en reducción poblacional), especie En peligro (EN-50 % en reducción), Vulnerable (VU-20 % en reducción), En menor riesgo (LR-No se encuentra en los porcentajes previamente designados) o Deficiencia de datos (DD-Cuando no hay datos para descartar las categorías anteriores).

A base del marco legal antes expuesto y los criterios para la designación y clasificación de especies de flora y fauna en peligro de extinción, el estatuto federal y el Reglamento 6766 establecen que se deberá presentar una lista general actualizada cada cinco años sobre el estado de estas especies con sus áreas de distribución, bajo la jurisdicción de Puerto Rico. También, se debe incluir información disponible o la necesidad de información sobre el estado poblacional de estas especies con el propósito de tener un perfil o estado de situación actualizado y establecer recomendaciones para el manejo efectivo de las mismas. La lista existente expone datos estimados de abundancia poblacional, pero no detalla la fuente de estos datos correspondientes a tasas de sobrevivencia o mortalidad por estadios de vida ni autores que proporcionen tales datos. En resumen, están enlistadas 133 especies de flora y fauna y 5 especies con designación de hábitat crítico. De las especies de animales enlistadas, las siguientes, excluyendo peces, están bajo las categorías de crítico, en peligro y vulnerables*:* 2 especies de mamíferos marinos, 2 especies de mamíferos terrestres, 17 especies de aves, 12 especies de reptiles, 8 especies de anfibios y 4 especies de invertebrados para un total de 45 especies de animales (Tabla 14).

**Tabla 14.**

*Especies de fauna: Lista estatal, según el Reglamento DRNA-6766 (2004)*

| Grupo animal | Cantidad de especies | Categoría |
|---|---|---|
| Mamíferos marinos (ballena jorobada y manatí antillano) | 2 | 1 - Vulnerable 1 - En peligro |
| Mamíferos terrestres (murciélagos) | 6 | 2 - Vulnerables<br>1 - Menor riesgo<br>3 - Deficiencia de datos |
| Aves | 27 | 7 - Críticas<br>5 - En peligro<br>5 - Vulnerables<br>1 - Menor riesgo<br>9 - Deficiencia de datos |
| Reptiles | 17 | 3 - Críticas<br>6 - En peligro<br>3 - Vulnerables<br>5 - Deficiencia de datos |
| Anfibios | 9 | 4 - Críticas<br>4 - Vulnerables<br>1 - Deficiencia de datos |
| Invertebrados (terrestres y acuáticos), principalmente especies del Filo Artrópoda (jueyes, langostas y camarones) | 20 | 3 - Críticas<br>1 - Vulnerables<br>8 - Menor riesgo<br>8 - Deficiencia de datos |

En cuanto a las especies de flora (arbóreas y herbáceas), cabe resaltar que todas las especies enlistadas están bajo las categorías de crítico, en peligro y vulnerables con un total de 48 especies de plantas (Tabla 15).

**Tabla 15.**

*Especies de flora: Lista estatal, según el reglamento DRNA-6766 (2004)*

| Grupo | Cantidad de especies | clasificación |
|---|---|---|
| Arbóreas y herbáceas | 48 | 30 - Críticas<br>15 - En peligro<br>3 - Vulnerables |

Bajo la jurisdicción federal, la Ley de Especies en Peligro de Extinción (ESA, 1974) define una especie en peligro como aquella que presenta peligro de extinción en su totalidad o en una porción significativa de su área de distribución, excluyendo a organismos de la clase Insecta. Se determina que una especie está amenazada o en peligro de extinción cuando se cumple con alguno de los siguientes criterios:

a. Por la destrucción, modificación del hábitat o disminución del área de distribución de la especie.
b. La sobreexplotación o utilización de la especie para propósitos comerciales, recreacionales o científicos.
c. Reducción de la especie por enfermedades o depredación.
d. La falta de mecanismos reguladores existentes u otros factores naturales o artificiales que afecten la existencia continua de la especie.

Las disposiciones de esta ley aplican a los estados y territorios de Estados Unidos y faculta al Servicio de Pesca y Vida Silvestre (USFWS, por sus siglas en inglés) para aplicar los mecanismos legales para su cumplimiento. Por regulación, se le requiere al USFWS actualizar cada cinco años las listas de especies amenazadas y en peligro de extinción con la información científica disponible y sus áreas de distribución en los estados y territorios bajo la jurisdicción federal. Para estas listas se aplican las siguientes clasificaciones basadas en las definiciones expuestas en la ley y en función de los datos poblacionales disponibles: Amenazada, En peligro de extinción, Excluida de la lista por recuperación y Propuesta en peligro.

En Puerto Rico, el USFWS ha designado cerca de 87 especies de animales y plantas como especies amenazadas o en peligro de extinción. Bajo la ley ESA se requiere que el secretario(a) del Interior y/o de Comercio (según la especie) designe un hábitat crítico federal. En la actualidad, hay 18 especies de plantas y animales bajo ESA con hábitats críticos designados en Puerto Rico. En la lista federal, el USFWS debe revisar el estatus

de las especies de flora y fauna enlistadas como amenazadas y en peligro de extinción. La última actualización se hizo en el 2020. A diferencia de la lista estatal, la federal no contempla especies de mamíferos terrestres (murciélagos) y solo expone al manatí antillano como la única especie de mamífero marino bajo la categoría de peligro de extinción. En la lista federal actual tenemos las siguientes especies de animales bajo la categoría de Peligro, Amenazadas y Propuestas en peligro: 1 especie de mamífero, 12 especies de aves, 10 especies de reptiles, 4 especies de anfibios y 1 especie de invertebrado (Mariposa arlequín) propuesta para enlistar. En total son 28 especies de animales (Tabla 16).

**Tabla 16.**

*Especies de fauna en la lista federal del USFWS (2020)*

| Grupo animal | Cantidad de especies | Clasificación |
|---|---|---|
| Mamíferos (Manatí antillano) | 1 | 1 - En peligro |
| Aves | 13 | 7 - En peligro<br>4 - Amenazadas<br>1 - Propuesta en peligro 1 - Recuperada |
| Reptiles | 17 | 6 - En peligro<br>4 - Amenazadas<br>1 – Recuperada |
| Anfibios | 4 | 1 - En peligro<br>3 - Amenazadas |
| Invertebrados (Mariposa arlequín de Puerto Rico) | 1 | 1 - Propuesta amenazada |

Publicada en https://www.fws.gov/office/caribbean-ecological-services/species.

En cuanto a las especies de flora, la lista federal las agrupa como Arbóreas, Helechos, Cactáceas, Orquídeas y Herbáceas. Bajo las categorías de peligro, amenazadas y propuestas en peligro, la lista expone 52 especies y 1 propuesta en peligro (*Salanum conocarpum* - Marrón bacora) para un total de 53 especies de plantas bajo estas categorías (Tabla 17). Al igual que en la lista estatal, todas las especies de plantas están bajo categorías que implican una mayor atención a su estado poblacional.

**Tabla 17.**

*Especies de flora en la lista federal del USFWS (2020)*

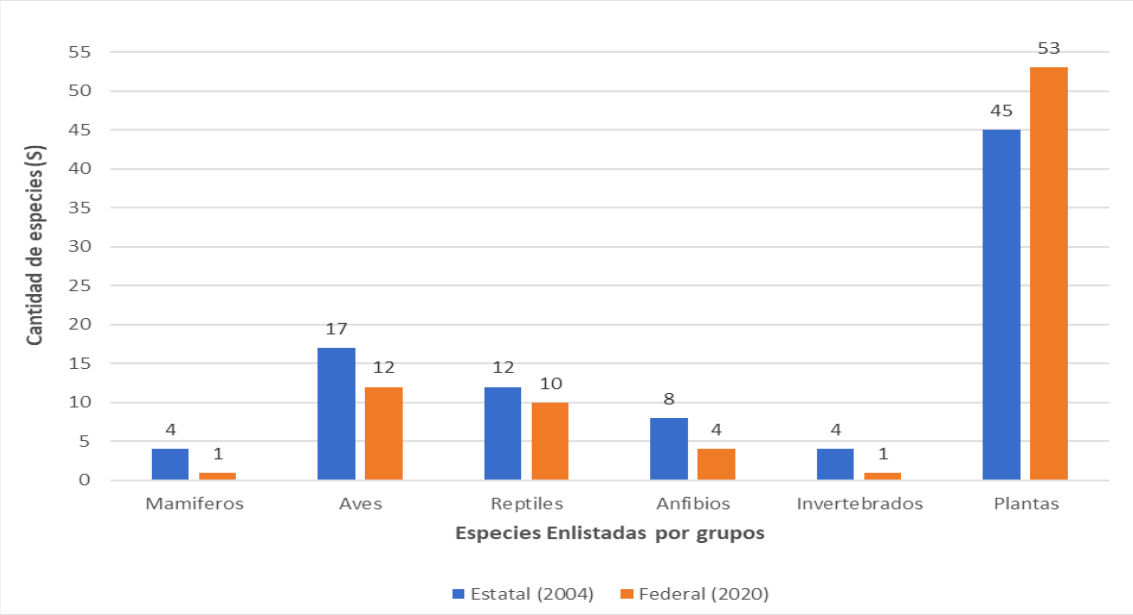
| Grupos | Cantidad de especies | Clasificación |
|---|---|---|
| Arbóreas, Helechos, Cactáceas, Orquídeas y Herbáceas | 53 | 46 - En peligro<br>6 - Amenazadas<br>1 - Propuesta en peligro |

Publicada en https://www.fws.gov/office/caribbean-ecological-services/species.

A base de las categorías de mayor preocupación incluidas en las listas, tanto estatal como federal, cabe resaltar que los grupos de especies de animales que encabezan las mayores designaciones son las aves, seguidas por los reptiles y anfibios y, en menores números, los mamíferos (Ilustración 51). En cuanto a las especies de plantas, los números son bastante cercanos, entre la lista estatal y la federal, y todas bajo categorías de especie crítica, en peligro, amenazadas o propuesta en peligro.

**Ilustración 51.**

*Especies de flora y fauna enlistadas por grupos de organismos, azul-estatal (2004) y naranja-federal (2020), bajo las categorías de especies crítica, en peligro, amenazadas o propuestas en peligro*



### 4.9.3. Hábitats críticos en Puerto Rico

Para la designación de hábitat crítico, el reglamento 6766 establece que estos podrán clasificarse como Hábitat natural crítico y Hábitat natural crítico esencial. Para la designación de esencial, debe ser el lugar único donde la especie considerada desarrolla toda o gran parte de su ciclo de vida y considera, mediante la información científica disponible, que el hábitat cuenta con las condiciones abióticas y bióticas únicas y esenciales que permiten el desarrollo de la especie y que la alteración de tales condiciones puede promover un riesgo alto de extinción en la especie en un futuro inmediato o a corto plazo. Bajo la categoría de Hábitat natural crítico, debe tratarse de un lugar donde se encuentra o se puede reintroducir una especie designada como vulnerable o en peligro de extinción, que el lugar posee las características abióticas y bióticas esenciales para la conservación de la especie y que necesita protección o manejo especial. Bajo el DRNA se han designado solo 5 especies con hábitat crítico. Cabe resaltar que el reglamento incluye otras categorías para la designación de hábitat de acuerdo con su valor ecológico. Define y desglosa los tipos de hábitat en las siguientes seis categorías:

1. Hábitat irremplazable
2. Hábitat esencial
3. Hábitat de alto valor ecológico
4. Hábitat de valor ecológico
5. Hábitat natural con gran potencial de convertirse en hábitat esencial de alto valor ecológico o de valor ecológico
6. Hábitat natural con bajo potencial de convertirse en hábitat esencial de alto valor ecológico o de valor ecológico

En cuanto a la jurisdicción federal y al amparo de la ley ESA, se define el hábitat crítico como las áreas geográficas específicas que contienen características esenciales para la conservación de una especie amenazada o en peligro de extinción que puede requerir una gestión y protección especial. El hábitat crítico puede incluir también áreas que no están ocupadas actualmente por la especie, pero que serán necesarias para su recuperación. Establecer un hábitat crítico alerta a las agencias federales para que lleven a cabo esfuerzos especiales de conservación para la especie cuando trabajen, financien o permitan actividades en estas áreas. La designación de hábitat crítico no tendrá impacto en acciones que se hagan en propiedades privadas que no requieren fondos o permisos federales. Dentro de las áreas ocupadas por la especie, los biólogos consideran los elementos físicos y biológicos necesarios para los procesos de vida en los que se incluye:

- Espacio para el crecimiento individual y poblacional y para el comportamiento normal de la especie.
- Refugio o cobertura.
- Alimento, agua, aire, luz, minerales u otros requerimientos nutricionales o fisiológicos de la especie.
- Lugares de reproducción y crianza de progenie.

© Hábitats que están protegidos de perturbaciones o son representativos de las distribuciones geográficas y ecológicas históricas de una especie.

Bajo la lista federal actualizada (agosto 2020) descrita previamente, el USFWS identifica 18 especies de animales y plantas con designación federal de hábitat crítico en Puerto Rico (Tabla 18). A pesar de que existe una lista de reservas y áreas naturales protegidas, urge atemperar las designaciones de hábitat crítico en función de la cantidad de especies de flora y fauna incluidas tanto en la lista estatal como en la federal.

**Tabla 18.**

*Especies de flora y fauna con designación federal de hábitat crítico en Puerto Rico*

| | | |
|---|---|---|
| *Agave eggersiana* **(No common name)** | **09/09/2014** | **79 FR 53315** |
| *Agelaius xanthomus* **(Mariquita)** | **09/22/1977** | **42 FR 47840** |
| *Ameiva polops* **(Lagartijo de Santa Cruz)** | **09/22/1977** | **42 FR 47840** |
| *Ano/is roosevelti* **(Lagartijo gigante de Culebra)** | **09/22/1977** | **42 FR 47840** |
| *Catesbaea melanocarpa* **(Sin nombre común)** | **08/28/2007** | **72 FR 49212** |
| *Chelonia mydas* **(Peje blanco)** | **09/02/1998** | **63 FR 46693** |
| *Cyclura cornuta stejnegeri* **(Iguana de Mona)** | **02/03/1978** | **43 FR 4618** |
| *Dermochelys coriacea* **(Tinglar)** | **09/26/1978** | **43 FR 43688** |
| *Ereutherodactylus cooki* **(Guajón)** | **10/23/2007** | **72 FR 60068** |
| *Ereutherodactylus jasperi* **(Coquí dorado)** | **11/11/1977** | **42 FR 58756** |
| *Ereutherodactylus juanariveroi* **(Coquí llanero)** | **10/04/2012** | **77 FR 60778** |
| **Epicrates monensis monensis** (*Chilabothrus monensis)* **(Boa de Mona)** | **02/03/1978** | **43 FR 4618** |
| *Eretmochelys imbricata* **(Carey)** | **06/24/1982** | **47 FR 27295** |
| *Gonocalyx concolor* | **9/9/2014** | **79 FR 53315** |

Lista federal USFWS (2020) publicada en https://www.fws.gov/office/caribbean-ecological-services/species. Actualizada en agosto de 2020.

Los impactos del cambio climático a la biodiversidad de Puerto Rico son evidentes y generan presiones ambientales que alteran la estructura y el funcionamiento de nuestros ecosistemas. También producen cambios importantes en nuestras poblaciones de flora y fauna de alto valor ecológico. Ante estos escenarios se necesitan cursos de acción

que atiendan de forma efectiva una gestión ambiental que fomente la resiliencia de los ecosistemas, el desarrollo de planes de manejo, en especial para ecosistemas y hábitats críticos, que utilicen un monitoreo ambiental actualizado, el desarrollo y auspicio de estudios científicos que se enfoquen en la tolerancia de nuestras especies y su plasticidad a condiciones ambientales estresantes y la creación de alianzas efectivas entre el sector gubernamental y comunitario para el desarrollo de proyectos efectivos de monitoreo ambiental, reforestación y rehabilitación de nuestros ecosistemas. La sección 7.9 detalla las estrategias para encaminarlos.

## 4.10. Forestación

Los bosques en Puerto Rico han sido históricamente subvalorados como recurso natural, puestos por debajo de usos de la tierra asociados a la agricultura y la ganadería o al crecimiento de los núcleos urbanos. A pesar de su importancia para la sociedad y la economía como fuente de materia prima para actividades agrícolas e industriales, su conservación y manejo ha recaído en manos de propietarios de tierras cuyo interés tiende a estar dominado por sus consideraciones económicas (individuales o de clase) más que por alguna función social o ecológica (colectiva). El rol del Estado a nivel estatal y federal se ha circunscrito principalmente al establecimiento de reservas forestales, cuyo manejo pasivo se explica por sus usos mayormente recreativos que cada vez tienen más baja prioridad para el otorgamiento de fondos gubernamentales.

En este contexto es evidente que la mayoría de los bosques en manos privadas suelen estar expuestos al vaivén de los mercados, pero coexisten con una serie de núcleos de bosques públicos que cuentan con mayor protección, pues son manejados por el Estado para su conservación y con fines recreativos. Sin embargo, la fórmula predilecta del Estado para asegurar la conservación de los bosques públicos ha sido excluir a sectores de la población que encuentran en el bosque vivienda o una fuente de recursos renovables para su sustento material. Como consecuencia de estas dinámicas socioeconómicas, la relevancia de los bosques en el día a día de las personas ha disminuido en Puerto Rico. Se han relegado a servir solo para la recreación o como cubierta de tierra temporera, a pesar de su gran valor intrínseco como proveedor de múltiples servicios ecosistémicos y su potencial de productividad sustentable. El más importante de estos servicios es como absorbente de los GEI y, por tanto, mitigador del calentamiento global.

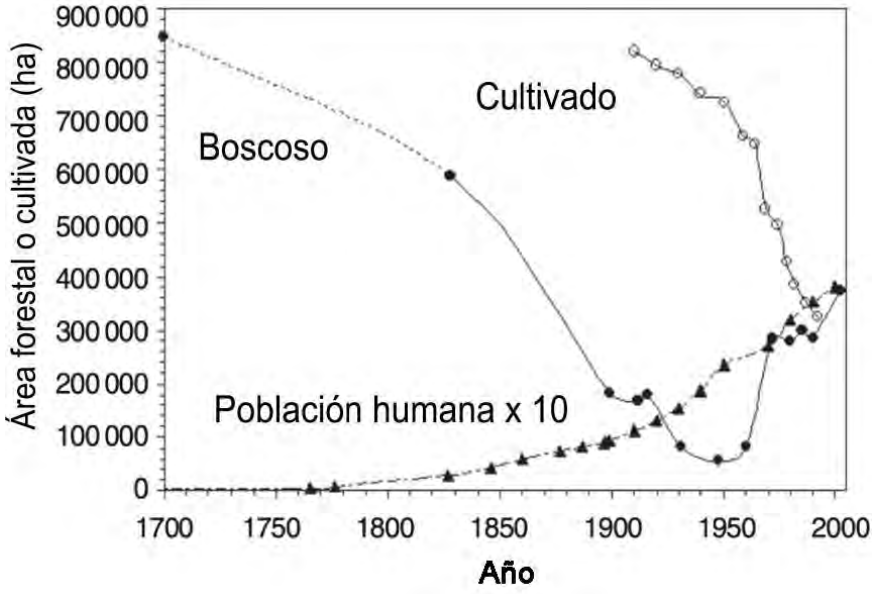
Tal y como definimos la justicia climática en la sección 2.7, estas dinámicas de historia ambiental imponen una carga desproporcionada sobre la mayoría de la población que no tiene participación en la toma de decisiones sobre los bosques, mientras recibe los efectos adversos de su destrucción o de su uso y manejos insostenibles.

Para comprender mejor estas dinámicas y su efecto ecológico es importante tomar en consideración el fenómeno de la transición forestal, descrito para varias regiones del mundo incluyendo a Puerto Rico. De hecho, la transición forestal de Puerto Rico ha sido una de las más drásticas documentadas, siendo estudiada a profundidad por cien-

tíficos como Ariel E. Lugo[547] y Thomas Rudel[548], entre otros. El motor principal para las transiciones forestales tiende a ser de naturaleza económica. En Puerto Rico se relacionan con los procesos de colonización española y estadounidense, dada la creciente intensidad de actividades extractivas de la tierra (minería, ganadería, agricultura, etc.). Previo a la colonización española, se estima que al menos el 90 % de la isla se mantenía forestada continuamente. Esta cubierta de bosques nativos disminuyó a través de los siglos, llegando a un mínimo de 5 % durante las primeras décadas del siglo xx, al aumentar la intensidad del uso de la tierra y la densidad poblacional, en parte por el flujo de capital estadounidense en el sector extractivo agrícola[549] [550].

**Ilustración 52.**

*Tendencias en la densidad poblacional y e uso de tierras en Puerto Rico desde el siglo xviii*




Al ocurrir el cambio de modelo económico en Puerto Rico de agrícola a industrial luego de la Segunda Guerra Mundial, se reduce la presión del uso de la tierra para la agricultura por la decadencia de las industrias de la caña, el café y el tabaco. La tendencia inversa se observa durante ese período para la cubierta de bosques, que muestra una recuperación acelerada al ocurrir una reforestación espontánea luego del abandono de

[547] Lugo, A. E. (2020), Effects of Extreme Disturbance Events: From Ecesis to Social–Ecological–Technological Systems, *Ecosystems*, doi:10.1007/s10021-020-00491-x.

[548] Rudel, T. K., M. Pérez-Lugo, and H. Zichal (2000), When Fields Revert to Forest: Development and Spontaneous Reforestation in Post-War Puerto Rico, *The Professional Geographer*, *52*(3), 386-397, doi:10.1111/0033-0124.00233.

[549] Álvarez-Berríos, N., D. Redo, T. Aide, M. Clark, and R. Grau (2013), "Land Change in the Greater Antilles between 2001 and 2010," *Land*, *2*(2), 81-107, doi: 10.3390/land2020081.

[550] Lugo, A. E. (2004), "The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico." *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*(5), 265-273.

tierras agrícolas. A pesar del continuo aumento de la población en Puerto Rico hasta el 2000, el proceso de reforestación espontánea continuó su curso desde el 1950 hasta el presente. Durante el período de 1950 a 1990, el crecimiento anual de la cubierta de bosques en Puerto Rico fue el mayor del mundo, con una tasa de 0.63 % al año[551]. Otro estudio enfocado en el período de 1970 a 2014 documentó un crecimiento del porcentaje de cubierta de bosques de 15.7 % a 45.7 %, confirmando que la tendencia positiva continuó en las primeras décadas del siglo XXI[552]. La recuperación y estabilización de la cubierta de bosques representa la última etapa de la transición forestal. En esta etapa coexisten los nuevos bosques (también conocidos como bosques secundarios o bosques noveles) dentro una matriz de usos mixtos, con una creciente presión por el desarrollo urbano[553] [554] [555] [556] [557] [558]. Determinar el mejor uso posible para estos bosques es un gran reto para la sociedad, considerando la urgencia impuesta por el cambio climático para conservar y aumentar la capacidad de los sumideros de carbono naturales[559] [560] [561].

[551] Rudel et al., 2000.

[552] Yuan, F., J. J. Lopez, S. Arnold, A. Brand, J. Klein, M. Schmidt, E. Moseman, and M. Michels-Boyce (2017), *Forestation in Puerto Rico, 1970s to Present, 2017*, *9*(3), https://doi.org/10.5539/jgg.v9n3p30.

[553] Grau, H. R., T. M. Aide, J. K. Zimmerman, J. R. Thomlinson, E. Helmer, and X. Zou (2003), "The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico." *BioScience*, *53*(12), 1159-1168.

[554] Helmer, E., T. Ruzycki, B. Wilson, K. Sherrill, M. Lefsky, H. Marcano-Vega, T. Brandeis, H. Erickson, and B. Ruefenacht (2018), "Tropical Deforestation and Recolonization by Exotic and Native Trees: Spatial Patterns of Tropical Forest Biomass, Functional Groups, and Species Counts and Links to Stand Age, Geoclimate, and Sustainability Goals." *Remote Sensing*, *10*(11), 1724.

[555] Helmer, E. H., O. Ramos, T. d. M. López, M. Quiñones, and W. Díaz (2002), "Mapping the Forest Type and Land Cover of Puerto Rico, a Component of the Caribbean Biodiversity Hotspot." *Caribbean Journal of Science*, *38*, 165-183.

[556] Lugo, A. E., and E. Helmer (2004), "Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests." *Forest Ecology and Management*, *190*(2-3), 145-161, doi:10.1016/j.foreco.2003.09.012.

[557] Parés-Ramos, I. K., W. A. Gould, and T. M. Aide (2008), "Agricultural abandonment, suburban growth, and forest expansion in Puerto Rico between 1991 and 2000." *Ecology & Society*, *13*(2).

[558] Rudel, T. K., P. Meyfroidt, R. Chazdon, F. Bongers, S. Sloan, H. R. Grau, T. Van Holt, and L. Schneider (2019), "Whither the forest transition? Climate change, policy responses, and redistributed forests in the twenty-first century." *Ambio*, doi:10.1007/s13280-018-01143-0.

[559] Chazdon, R. L., et al., (2016), "Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics." *Science Advances*, *2*(5), doi:10.1126/sciadv.1501639.

[560] Schwartz, N. B., T. M. Aide, J. Graesser, H. R. Grau, and M. Uriarte (2020), "Reversals of Reforestation Across Latin America Limit Climate Mitigation Potential of Tropical Forests." *Frontiers in Forests and Global Change*, *3*, doi:10.3389/ffgc.2020.00085.

[561] Sloan, S. (2022), "Reforestation reversals and forest transitions." *Land Use Policy*, *112*, 105800, doi:https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105800.

### 4.10.1. Inventario Forestal Nacional en Puerto Rico y el huracán María

**Tabla 19.**

*Descripción histórica del inventario forestal nacional de Puerto Rico*

| Ciclo del inventario | Período de ejecución | Nivel | Diseño de muestreo | Número de unidades de muestreo | Publicaciones del Inventario Forestal Nacional de Puerto Rico |
|---|---|---|---|---|---|
| IFN 1 | 1980 | Nacional | Sistemático | 978 | Birdsey and Weaver, 1982 |
| IFN 2 | 1990 | Nacional | Sistemático | 978 | Franco, Weaver, and Eggen-McIntosh, 1997 |
| IFN 3 | 2001-2004 | Nacional | Sistemático | 514 | Brandeis, Helmer, and Oswalt, 2007 |
| IFN 4 | 2006-2009 | Nacional | Sistemático | 550 | Brandeis and Turner, 2013 |
| IFN 5 | 2010-2014 | Nacional | Sistemático | 574 | Marcano-Vega, 2019 |
| IFN 6 | 2016-2019 | Nacional | Sistemático | 581 | Brandeis and Marcano-Vega, 2021 |

La mejor referencia para estudiar los cambios en la cubierta forestal –así como en la estructura y composición de los bosques en los Estados Unidos y sus territorios– es el Inventario Forestal Nacional (FIA, por sus siglas en inglés) liderado por el Servicio Forestal. El inventario se lleva a cabo en el archipiélago de Puerto Rico (Puerto Rico, Vieques y Culebra) desde el 1980. La naturaleza sistemática de este inventario provee una base de datos forestales comparables a través del tiempo que documentan el proceso de desarrollo y maduración de los nuevos bosques (aunque excluyen manglares y bosques urbanos). Una de las conclusiones más importantes que se derivan de los seis inventarios hechos en Puerto Rico hasta el momento ha sido confirmar el crecimiento en la cubierta de bosques, el cual fue acelerado del 1980 al 2004 y luego se ha mantenido relativamente estable en el siglo XXI (>50 % desde el 2004).

Esta cubierta forestal representa en su mayoría ecosistemas jóvenes que se encuentran en activo desarrollo estructural, y que también experimentan cambios en composición de especies a medida que se cierra el dosel y cambia el microclima del sotobosque (la vegetación formada por matas y arbustos que crece bajo los árboles de un bosque). Por ejemplo, ha continuado creciendo la biomasa y el volumen de los árboles durante el mismo período en que la cubierta de bosques se ha mantenido estable (2004 a 2019), especialmente en las zonas de vida húmeda, muy húmeda y pluvial (*subtropical moist and wet/rain*) que tienen mayor productividad. Además, gracias a estos inventarios se ha podido documentar el crecimiento del área de bosque en la zona de vida seca (*subtropical dry*) de 2004 a 2014. La estabilización de la cubierta de bosques representa un hito importante para la transición forestal en Puerto Rico, pero ocurre dentro de un contexto muy dinámico con disturbios naturales de alta intensidad (huracanes), alta diversidad de condiciones ambientales (geología, suelos y clima) y

crecientes presiones antropogénicas para urbanizar. Lidiar con este dinamismo ecológico de Puerto Rico es uno de los retos principales al plan de reforestación.

Un grupo de bosques al que no se le ha prestado mucha atención son los bosques urbanos. Sin embargo, el 6 % de la cubierta forestal de Puerto Rico son bosques urbanos[562] que ocupan más área que los manglares y mantienen la salud de los ambientes urbanos donde viven casi todos los puertorriqueños. En el bosque urbano de San Juan se documentó que dentro de la ciudad hay alta diversidad ecológica[563] que propicia beneficios significativos a la ciudad[564].

Los efectos del huracán María en el 2017 merecen atención especial, considerando la gran intensidad del evento y que todavía puede considerarse que los bosques se encuentran en proceso de recuperación. El análisis preliminar del Inventario Nacional Forestal más reciente (2019) provee información sobre el porcentaje de mortalidad calculado para distintas zonas de vida, así como una comparación del efecto sobre especies de árboles introducidas y nativas. Por ejemplo, se indica que hubo un gradiente de mortalidad de árboles, aumentando de la zona de vida seca (4 %) a las zonas de vida húmedas, muy húmedas y pluviales (12 % y 15 %, respectivamente), pues a mayor elevación y con árboles más altos, estos bosques son más vulnerables a las ráfagas de vientos. En las parcelas del inventario (bosques, excluyendo zonas urbanas y manglares) la mortalidad promedio por el huracán María fue de 10 %, lo que equivale a 144 millones de árboles muertos estimados a base de los árboles vivos en el inventario anterior.

Además del aumento en mortalidad por el huracán, que ocurre paralelo al proceso natural de mortalidad por la edad de los árboles (~6 %), se pudo documentar que hubo una disminución significativa de la biomasa de los árboles a causa de la pérdida de sus doseles o ramas principales[565] [566]. El efecto estructural fue mayor en las especies de árboles introducidas que dominan la mayoría de los bosques estudiados (76 % para *S. campanulata*), comparado con las especies nativas que están mejor adaptadas a los huracanes (38 % para *T. heterophylla* y *B. simaruba*). Finalmente, también se calculó el efecto del huracán María sobre la cubierta de bosque en 2019, la cual se redujo en 5 % en comparación con el inventario de 2014. Estos cambios en la estructura provoca-

[562] Martinuzzi, S., A. E. Lugo, T. J. Brandeis, and E. H. Helmer. 2013. “Geographic distribution and level of novelty of Puerto Rican forests.” Pages 81-87 in R. J. Hobbs, E. S. Higgs, and C. Hall, editors. *Novel ecosystems: Intervening in the new ecological world order*. Wiley, Oxford.

[563] Lugo, A. E., O. M. Ramos González, and C. Rodríguez Pedraza. 2011. The Río Piedras watershed and its surrounding environment. USDA Forest Service FS-980, Washington, DC.

[564] Brandeis, T. J., F. J. Escobedo, C. L. Staudhammer, D. J. Nowak, and W. C. Zipperer. 2014. San Juan Bay Estuary Watershed urban forest inventory. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station General Technical Report SRS-190, Asheville, NC.

[565] Hall, J., R. Muscarella, A. Quebbeman, G. Arellano, J. Thompson, J. K. Zimmerman, and M. Uriarte (2020), “Hurricane-Induced Rainfall is a Stronger Predictor of Tropical Forest Damage in Puerto Rico Than Maximum Wind Speeds.” *Scientific Reports*, *10*(1), 4318, doi: 10.1038/s41598-020-61164-2.

[566] Leitold, V., D. C. Morton, S. Martinuzzi, I. Paynter, M. Uriarte, M. Keller, A. Ferraz, B. D. Cook, L. A. Corp, and G. González (2021), “Tracking the Rates and Mechanisms of Canopy Damage and Recovery Following Hurricane Maria Using Multitemporal Lidar Data.” *Ecosystems*, https://doi.org/10.1007/s10021-021-00688-8.

dos por el huracán son un proceso natural que provee oportunidad para el desarrollo y maduración de estos bosques relativamente jóvenes. A base de estimados hechos en el bosque de tabonuco luego del huracán Hugo en 1989, los bosques deben recuperar su biomasa en un período de 5 a 10 años, dependiendo del clima[567].

El huracán María causó unos 100,000 derrumbes en la cordillera central[568] y expuso suelos previamente forestados a la erosión a causa de las lluvias extremas. Estos derrumbes deben revegetarse para proteger los suelos y la calidad del agua que emana de la cordillera. En la ciudad, el huracán causó estragos en la vegetación y a pesar de la resiliencia de los bosques urbanos, se perdió el 40 % de la producción de alimento[569].

### 4.10.2. El ciclo de carbono en los bosques de Puerto Rico

Los bosques tropicales, como los que existen en Puerto Rico, son los ecosistemas con las tasas de productividad primaria más altas del mundo[570]. Estos ecosistemas pueden sostener grandes cantidades de biomasa por las condiciones climáticas favorables que los caracterizan[571]. Las zonas de vida de Puerto Rico con mayor biomasa son los bosques húmedos, muy húmedos y pluviales, que representan la mayoría de la cobertura de bosques concentrada en las zonas montañosas, el karso y los valles aluviales[572] [573]. Igualmente, los bosques tropicales almacenan en el suelo cantidades de carbono similares a las de biomasa. Esto resulta en un ecosistema con alta densidad de carbono[574]. Estos bosques ricos en carbono fueron deforestados a través de los siglos, resultando en la pérdida de este importante recurso a la atmósfera en la forma de dióxido de carbono**.** Con la reforestación espontánea que ha ocurrido en Puerto Rico, se ha podido documentar cómo los nuevos bosques han recuperado mucho del carbono perdido en

[567] Scatena, F. N., S. Moya, C. Estrada, and J. D. Chinea (1996), "The First Five Years in the Reorganization of Aboveground Biomass and Nutrient Use Following Hurricane Hugo in the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico." *Biotropica*, *28*(4), 424-440, doi: 10.1007/s10021-021-00688-8.

[568] Bessette-Kirton, E. K., C. Cerovski-Darriau, W. H. Schulz, J. A. Coe, J. W. Kean, J. W. Godt, M. A. Thomas, and K. S. Hughes. 2019. Landslides triggered by Hurricane Maria: assessment of an extreme event in Puerto Rico. GSA Today. The Geological Society of America, doi.org/10.1130/GSATG383A.1.

[569] Olivero Lora, S., J. Rojas Sandoval, E. J. Meléndez Ackerman, and J. L. Orengo Rolón. 2022. "Hurricane driven changes in vegetation structure and ecosystem services in tropical urban yards: a study case in San Juan, Puerto Rico." *Urban Ecosystems*, Pre-print:1-14.

[570] Malhi, Y., D. Baldocchi, and P. Jarvis (1999), "The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests." *Plant, Cell & Environment*, *22*(6), 715-740.

[571] Ewel, J. J., and J. L. Whitmore (1973), The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands *Rep. ITF-18*, Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico.

[572] Harris, N. L. (2006), The carbon balance of a tropical forested ecosystem along an elevational gradient in the Luquillo Mountains, Puerto Rico: An empirical and modeling study scaled from leaves to landscapes, Dissertation thesis, 212 pp, State University of New York.

[573] Heartsill Scalley, T. (2017), "Insights on Forest Structure and Composition from Long-Term Research in the Luquillo Mountains". *Forests*, *8*(6), 204.

[574] Marin-Spiotta, E., W. L. Silver, C. W. Swanston, and R. Ostertag (2009), "Soil organic matter dynamics during 80 years of reforestation of tropical pastures." *Global Change Biology*, *15*(6), 1584-1597, doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01805.x.

la biomasa y en el suelo[575] [576]. Al inicio de la recuperación, la tasa de almacenaje de carbono es muy alta, pues el ecosistema se encuentra en una etapa inicial de desarrollo y existe una alta disponibilidad de recursos (luz, agua, nutrientes). Los suelos agrícolas abandonados se caracterizan por bajos niveles de materia orgánica dada la extensa exposición al cultivo, y al aumentar la caída de hojarasca y biomasa de raíces por la reforestación, también ocurre un aumento significativo del carbono almacenado en el suelo[577] [578]. Al proceder la recuperación, las diferencias en el almacenaje de carbono entre bosques primarios y secundarios disminuyen, siendo ambos importantes sumideros de carbono. Luego de más de medio siglo, los bosques secundarios recuperan su capacidad funcional con una productividad o potencial de secuestro de carbono comparable a los bosques maduros.

Dos estudios sobre el balance de carbono en el bosque urbano de San Juan coinciden en que el bosque tiene una alta capacidad de asimilar carbono de la atmósfera y almacenarlo en sedimentos y biomasa[579] [580]. Se encontró que la siembra de árboles en los sectores deforestados de la ciudad aumenta desproporcionalmente la remoción de carbono de la atmósfera[581]. Reforestar la ciudad beneficia la mitigación del cambio climático y las islas de calor a la vez que beneficia el entorno urbano y la salud de los residentes.

[575] Aide, T. M., J. K. Zimmerman, J. B. Pascarella, L. Rivera, and H. Marcano-Vega (2000), "Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology." *Restoration Ecology*, *8*(4), 328-338, doi:https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80048.x.

[576] Marín-Spiotta, E., D. F. Cusack, R. Ostertag, and W. L. Silver (2008), Trends in above and belowground carbon with forest regrowth after agricultural abandonment in the neotropics, in *Post- Agricultural Succession in the Neotropics*, edited, págs. 22-72, Springer.

[577] Silver, W. L., A. E. Lugo, and D. Farmer (2002), Soil Organic Carbon in Tropical Forests of the United States of America, in *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*, edited by J. Kimble, R. Birdsey, L. Heath, R. Follett and R. Lal, CRC Press.

[578] Silver, W. L., R. Ostertag, and A. E. Lugo (2000), "The Potential for Carbon Sequestration Through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands." *Restoration Ecology*, *8*(4), 394- 407, doi:10.1046/j.1526-100x.2000.80054.x.

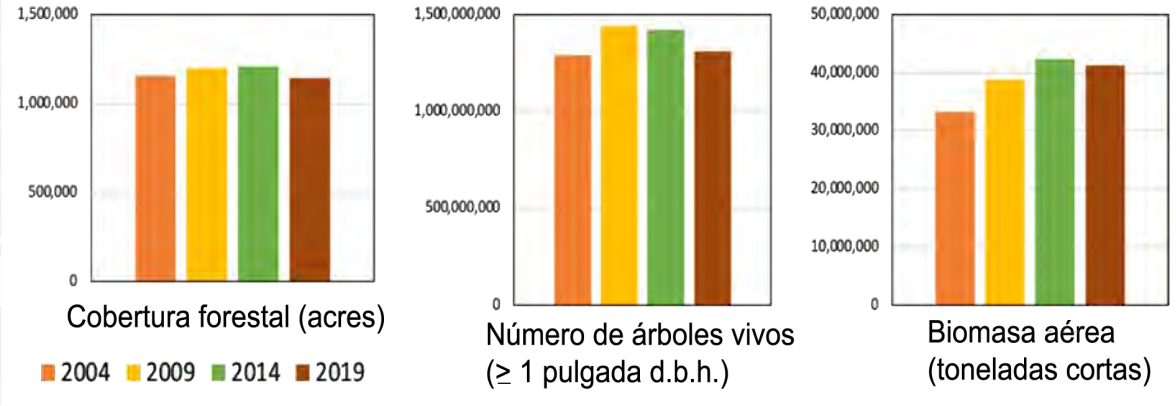
[579] Brandeis et al., 2014.

[580] Wigand, C., M. Eagle, B. L. Branoff, S. Balogh, K. M. Miller, R. M. Martin, A. Hanson, A. J. Oczkowski,E. Huertas, J. Loffredo, and E. B. Watson. 2021. "Recent carbon storage and burial exceed historic rates in the San Juan Bay estuary peri-urban mangrove forests (Puerto Rico, United States)." *Frontiers in Forests and Global Change* 07 June 2021 https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.676691.

[581] Lugo, A.E. and J.F. Bauzá Ortega. 2023. San Juan Bay estuary: research history and opportunities. Estuario de la Bahía de San Juan, San Juan, Puerto Rico.

**Ilustración 53.**

*Comparación de datos del inventario nacional forestal en y antes del huracán María*




Existe gran preocupación entre los científicos sobre el futuro de los nuevos bosques secundarios que representan la última fase de la transición forestal[582]. Considerando la extensa deforestación de los bosques tropicales, y la inmensa resiliencia que han demostrado al recuperarse luego del uso humano, es crítico reconocer el valor que proveen los bosques como infraestructura para la sociedad[583]. El creciente reconocimiento de los servicios ecosistémicos y su valor ambiental, social y económico debe facilitar esfuerzos de conservación de bosques, especialmente considerando el alto potencial que tienen como sumideros de carbono para mitigar el cambio climático[584].

### 4.10.3. El cambio climático y los bosques de Puerto Rico

Los bosques de Puerto Rico se han desarrollado bajo un régimen climático que ya está cambiando, y estos ecosistemas tendrán que adaptarse a una mayor frecuencia de huracanes intensos, olas de calor y períodos de sequía, entre otros cambios globales[585] [586] [587]. En Puerto Rico, se ha estudiado extensamente el efecto de los huracanes sobre

[582] Rudel et al., 2019.

[583] Poorter, L., et al. (2016), Biomass resilience of Neotropical secondary forests, Nature, advance online publication, doi:10.1038/nature16512. https://www.nature.com/articles/nature16512#citeas

[584] Schwartz et al., 2020.

[585] Bhardwaj, A., V. Misra, A. Mishra, A. Wootten, R. Boyles, J. H. Bowden, and A. J. Terando (2018), "Downscaling future climate change projections over Puerto Rico using a non-hydrostatic atmospheric model." *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-017-2130-x.

[586] Henareh Khalyani, A., W. A. Gould, E. Harmsen, A. Terando, M. Quiñones, and J. A. Collazo (2016), "Climate change implications for tropical islands: Interpolating and interpreting statistically downscaled GCM projections for management and planning." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, doi:10.1175/JAMC-D-15-0182.1.

[587] Wood, T. E., M. A. Cavaleri, and S. C. Reed (2012), "Tropical forest carbon balance in a warmer world: a critical review spanning microbial –to ecosystem– scale processes." *Biological Reviews*, *87*(4), 912-927.

la estructura y funcionamiento de los bosques[588] [589] [590] [591]. Aunque se han documentado las múltiples adaptaciones que confieren resistencia y resiliencia a las especies nativas ante estos eventos naturales, es importante considerar los efectos que puedan tener las proyecciones de una mayor frecuencia e intensidad de huracanes sobre los bosques[592] [593]. Estudios con modelos y experimentos sugieren que los bosques tendrían menos cantidad de biomasa si aumenta la frecuencia de los huracanes, pues la pronta recurrencia no permite tiempo para la recuperación del ecosistema[594] [595] [596]. Una mayor frecuencia de huracanes provocaría también cambios en la composición de especies, promoviendo la dominancia de especies comunes en la sucesión temprana que toleran ambientes con alta intensidad de luz[597] [598].

Las proyecciones de precipitación para el Caribe sugieren una disminución por el cambio climático para mediados del siglo XXI, que puede reflejarse tanto en cambios en la estacionalidad como en aumentos en la frecuencia de períodos de sequía[599]. Los eventos de sequía tienen efectos significativos sobre la productividad de los bosques dado el aumento en el nivel de estrés foliar causado por la baja humedad relativa y las

[588] Lugo, A. E. (2000), "Effects and outcomes of Caribbean hurricanes in a climate change scenario." *Science of The Total Environment*, *262*(3), 243-251, doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0048- 9697(00)00526-X.

[589] Shiels, A. B., G. González, D. J. Lodge, M. R. Willig, and J. K. Zimmerman (2015), "Cascading Effects of Canopy Opening and Debris Deposition from a Large-Scale Hurricane Experiment in a Tropical Rain Forest." *BioScience*, *65*(9), 871-881, doi:10.1093/biosci/biv111.

[590] Zimmerman, J. K., M. R. Willig, and E. A. Hernández-Delgado (2020), "Resistance, resilience, and vulnerability of social-ecological systems to hurricanes in Puerto Rico." *Ecosphere*, *11*(10), e03159, doi:10.1002/ecs2.3159.

[591] Zimmerman, J. K., T. E. Wood, G. González, A. Ramírez, W. L. Silver, M. Uriarte, M. R. Willig, R. B. Waide, and A. E. Lugo (2021), "Disturbance and resilience in the Luquillo Experimental Forest." *Biological Conservation*, *253*, 108891, doi:https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108891.

[592] Emanuel, K. (2021), "Atlantic tropical cyclones downscaled from climate reanalyses show increasing activity over past 150 years." *Nature Communications*, *12*(1), doi:10.1038/s41467-021-27364-8.

[593] Knutson, T. R., J. L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J. P. Kossin, A. K. Srivastava, and M. Sugi (2010), "Tropical cyclones and climate change." *Nature Geosci*, *3*(3), 157-163, doi:http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n3/suppinfo/ngeo779_S1.html.

[594] Hogan, J. A., et al., (2018), "The Frequency of Cyclonic Wind Storms Shapes Tropical Forest Dynamism and Functional Trait Dispersion." *Forests*, *9*(7), 404.

[595] Holm, J. A., S. J. Van Bloem, G. R. Larocque, and H. H. Shugart (2017), "Shifts in biomass and productivity for a subtropical dry forest in response to simulated elevated hurricane disturbances." *Environmental Research Letters*, *12*(2), 025007.

[596] Lin, T.-C., J. A. Hogan, and C.-T. Chang (2020), "Tropical Cyclone Ecology: A Scale-Link Perspective." *Trends Ecol. Evol.*, *35*(7), 594-604, doi:https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.02.012.

[597] Feng, X., M. Uriarte, G. González, S. Reed, J. Thompson, J. K. Zimmerman, and L. Murphy (2018), "Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling." *Global Change Biology*, *24*(1), e213-e232, doi:10.1111/gcb.13863.

[598] Shiels, A. B., J. K. Zimmerman, D. C. García-Montiel, I. Jonckheere, J. Holm, D. Horton, and N. Brokaw (2010), "Plant responses to simulated hurricane impacts in a subtropical wet forest, Puerto Rico." *Journal of Ecology*, *98*(3), 659-673, doi:10.1111/j.1365-2745.2010.01646.x.

[599] Bhardwaj et al.*, 2018;* Henareh Khalyani et al., 2016.

altas temperaturas[600] [601]. Las sequías más severas pueden también reducir la humedad del suelo y reducir las tasas de descomposición de materia orgánica, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes. Los bosques en Puerto Rico con mayor vulnerabilidad a los cambios en precipitación y humedad atmosférica son los bosques nublados, que solo se encuentran en las cimas de las montañas de la Cordillera Central y la Sierra de Luquillo[602]. Estos bosques reciben las mayores cantidades de precipitación documentadas en Puerto Rico y se espera que su distribución se encoja drásticamente como consecuencia de la disminución de precipitación, junto al efecto perjudicial del aumento en la temperatura[603] [604].

Los bosques tropicales se caracterizan por tener climas con una temperatura cálida con pocas variaciones estacionales. Por ende, son más vulnerables a los aumentos en temperatura proyectados por los modelos[605]. En los bosques de Puerto Rico, se ha encontrado que las hojas operan a su temperatura óptima, sugiriendo que aumentos en temperatura puedan reducir la productividad dominante de las especies de árboles por estrés térmico[606]. También es esencial tomar en consideración la interacción entre los cambios climáticos (y otros cambios globales, como la fragmentación o degradación), pues estos pueden llevar a los ecosistemas a un punto crítico donde ocurre un cambio extremo en estructura y funcionamiento[607]. De ocurrir estos cambios extremos, perderíamos los servicios ecosistémicos asociados a los bosques y habría una serie de consecuencias críticas para la sociedad tales como el aumento en erosión y sedimentación de cuerpos de agua, el aumento en las escorrentías e inundaciones, entre otros.

Ante este cuadro de incertidumbre, se puede diseñar un plan de reforestación que establezca bosques resilientes y sostenibles. Tal plan debe tomar en consideración la experiencia de la década del 1940[608] y los principios más avanzados de la ecología moderna. De esta forma, se utilizan los procesos naturales de regeneración y sucesión

---

[600] Beard, K. H., K. A. Vogt, D. J. Vogt, F. N. Scatena, A. P. Covich, R. Sigurdardottir, T. G. Siccama, and T. A. Crowl (2005), "Structural and functional responses of a subtropical forest to 10 years of hurricanes and drought." *Ecological Monographs*, *75*(3), 345-361, doi:10.1890/04-1114.

[601] Scholl, M. A., M. Bassiouni, and A. J. Torres-Sánchez (2021), "Drought stress and hurricane defoliation influence mountain clouds and moisture recycling in a tropical forest." *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, *118*(7), e2021646118, doi: 10.1073/pnas.2021646118.

[602] Murphy, S. F., R. F. Stallard, M. A. Scholl, G. González, and A. J. Torres-Sánchez (2017), "Reassessing rainfall in the Luquillo Mountains, Puerto Rico: Local and global ecohydrological implications." *PLOS ONE*, *12*(7), e0180987, doi:10.1371/journal.pone.0180987.

[603] Helmer, E. H., E. A. Gerson, L. S. Baggett, B. J. Bird, T. S. Ruzycki, and S. M. Voggesser (2019), "Neotropical cloud forests and páramo to contract and dry from declines in cloud immersion and frost." *PLOS ONE*, *14*(4), e0213155, doi: 10.1371/journal.pone.0213155.

[604] Van Beusekom, A. E., G. González, and M. A. Scholl (2017), "Analyzing cloud base at local and regional scales to understand tropical montane cloud forest vulnerability to climate change." *Atmos. Chem. Phys.*, *17*(11), 7245-7259, doi: 10.5194/acp-17-7245-2017.

[605] *Wood et al.*, 2012.

[606] Carter, K. R., T. E. Wood, S. C. Reed, K. M. Butts, and M. A. Cavaleri (2021), "Experimental warming across a tropical forest canopy height gradient reveals minimal photosynthetic and respiratory acclimation." *Plant, Cell & Environment*, *n/a*(n/a), doi: https://doi.org/10.1111/pce.14134.

[607] Feng et al., 2018.

[608] Marrero, J. 1950. "La reforestación de tierras degradadas de Puerto Rico." *Caribbean Forester* 11:16-24.

en combinación con técnicas silviculturales noveles para establecer bosques diversos y adaptados al cambio climático.

## 4.11. Turismo

### 4.11.1. El turismo y el cambio climático

En Puerto Rico, históricamente, el turismo ha sido reconocido como un sector económico estratégico (Tabla 20, aunque como veremos a través de esta sección su impacto a nivel local está extremadamente centralizado en uno o dos pueblos. Dicha realidad tiene importancia cuando hablamos del cambio climático, ya que la concentración de turistas en un área geográfica implica considerar la capacidad de carga[609] de la misma y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres y marinos de ese entorno.

**Tabla 20.**

*Impacto económico del turismo en Puerto Rico 2022*

| $116 M | $5,700 M | 4.4 % | 91,500 |
|---|---|---|---|
| Recaudo de impuesto por alojamiento | Gasto de los turistas | PIB | Empleos |

Fuente: *Discover Puerto Rico*[610]

Desde sus inicios como destino turístico y hasta el presente, Puerto Rico ha sido clasificado como un destino de sol y playa. Ante el cambio climático, ello tiene serias implicaciones tanto para la competitividad como para la sostenibilidad del sector turístico y del propio destino. El clima –y con ello el cambio climático– y la gestión ambiental del turismo deben ser factores determinantes para la planificación presente y futura del destino. Una estrategia turística ambiental para atender el cambio climático es fundamental para nuestra subsistencia como destino turístico.

Los desafíos climáticos conllevan retos sociales, económicos y ambientales que son los tres componentes de la sostenibilidad turística a la que debe aspirar todo destino. Ya la población sufre los efectos del cambio climático y así lo reconoce. Nuestra infraestructura natural, marina, agrícola, cultural, industrial y la construida, así como nuestros ecosistemas están expuestos a los efectos negativos del cambio climático y comienzan a mostrarlos. Las proyecciones anticipan que el cambio climático tendrá un impacto signifi-

609 La capacidad de carga es el número máximo de visitantes que puede contener un determinado espacio, recurso o destino turístico sin comprometer su integridad ni su sostenibilidad.

610 Véase más en: https://www.discoverpuertorico.com/industry/download/602496-discover-puerto-rico-revela-el-perfil-de-los-visitantes-que-llegaron-en-el-2022.pdf

cativo en la viabilidad, competitividad y sostenibilidad del sector turístico en los próximos años. Por lo anterior, es ineludible e impostergable que el sector turístico puertorriqueño integre en su planificación la adaptación y resiliencia de la infraestructura turística, tanto la infraestructura gris, como la infraestructura natural.

Las variables que influyen en el turista a la hora de seleccionar un destino son múltiples, entre ellas, atracciones, costos, seguridad y tiempo de vuelo. Sin embargo, no podemos ignorar que el clima es uno de los criterios más importantes para la selección del destino porque este condicionará la temporada del año a viajar y las actividades a poder realizarse dentro del mismo.

En Puerto Rico prevalecen condiciones de alta vulnerabilidad ante el cambio climático ya que las playas y el clima tropical y caribeño determinan la elección de la isla como destino turístico, además de la duración y calidad de la experiencia turística. Es de suma importancia ser proactivos en las medidas de adaptación y resiliencia, sobre todo en los productos turísticos, para que el destino sea competitivo y sostenible. Algunas de las amenazas del cambio climático al sector turístico identificadas son:

1. Cambios en las condiciones atmosféricas como las olas de calor, que afectarán la demanda turística y las actividades en el destino.
2. Cambios climáticos extremos que modificarán el paisaje y sus atractivos, lo cual conllevará pérdida de competitividad.
3. Aumento en la frecuencia de desastres naturales como huracanes, tormentas y olas de calor, que provocarán la interrupción de actividades.
4. Contaminación más frecuente de las playas, uno de los atractivos turísticos principales.
5. El 79 % de la infraestructura hotelera turística es vulnerable al aumento del nivel del mar.
6. Desaparición de playas por erosión.
7. Mortandad de los arrecifes de coral.
8. Impacto significativo del cambio climático sobre el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín.
9. Impacto del cambio climático sobre los muelles donde atracan los cruceros.

Los entes públicos informan continuamente los resultados económicos positivos que genera el sector turístico y los empleos que crea. Sin embargo, no podemos ignorar que, además de los efectos de las manifestaciones del cambio climático, el uso intenso de los recursos de la isla como parte de las prácticas relacionadas con algunas actividades turísticas conlleva efectos negativos para el destino.

### 4.11.2. Perfil y preferencias geográficas del visitante[611] [612]

Para un destino turístico es de crucial importancia conocer el perfil del turista que lo elige como destino para poder atender con efectividad los retos del cambio climático. Este tipo de análisis permite definir estrategias efectivas para la competitividad y sostenibilidad turística ante posibles cambios de preferencia del turista por los efectos del cambio climático, a la vez que sirve de herramienta de planificación para definir y adoptar estrategias de adaptación y resiliencia. La llamada geografía turística[613] nos permite analizar las conductas y preferencias geográficas de los turistas, y la organización y transformación del territorio por las dinámicas turísticas en el territorio (destino). Si no conocemos de dónde vienen nuestros turistas y dónde pernoctan, poco o nada podremos planificar para atender el cambio climático.

En la Tabla 21 incluimos el perfil geográfico del turista que nos visita (emisor) relacionado con su procedencia y sus preferencias de pernoctación en el destino, que pudieran afectarse con el cambio climático.

**Tabla 21.**

*Desglose de comportamientos según el perfil del visitante exclusivamente de vacaciones*

| Tema | Preferencias | % 2017 JP |
|---|---|---|
| **País** | EE. UU. | 90.2 |
| **Área geográfica** | Este - EE. UU. | 54.3 |
| | Sur - EE. UU. | 29.4 |
| | Oeste - EE. UU. | 14.9 |
| **Estados** | Nueva York | 22.1 |
| **Región de estadía** | Zona Metro | 59.3 |
| | Porta del Este | 16.2 |
| | Porta del Sol | 7.2 |
| | Porta Atlántico | 6.1 |
| | Porta Caribe | 4.6 |
| | Distrito Especial Turístico de la Montaña | 2.6 |
| **Actividad realizada** | Actividades acuáticas y playa | 74.6 |
| | Ecoturismo | 27.2 |

Fuente: Junta de Planificación de Puerto Rico. *Perfil del Visitante, 2017.*

[611] Solo se han incluido los datos relevantes para este diagnóstico en torno al tema de procedencia del visitante (emisor) y estancia (pernoctación) en el destino tomados del *Perfil del Visitante 2017* de la Junta de Planificación de Puerto Rico.

[612] Aunque *Discover Puerto Rico* publicó el *Visitor Profile Report* 2022, el mismo no sigue el modelo del *Perfil del Visitante* de la Junta de Planificación sobre el comportamiento de pernoctación del turista en las regiones turísticas, sino que analiza el comportamiento de las visitas.

[613] Véase Vera Rebollo, J.: López Palomeque, F.: Marchena, M.: Antón Clave, S. (2013) *Análisis territorial del turismo y planificación de destinos turísticos,* Tirant Humanidades, Valencia, España.

De estos datos resulta evidente que Puerto Rico como destino turístico tiene grandes retos ya que el destino emisor está limitado al turista de los Estados Unidos. Como destino, tenemos un reto en cuanto a la diversificación del destino emisor ya que el 90.2 % (y 94 % según el *Discover Puerto Rico*) de nuestros turistas proviene de Estados Unidos. La misma concentración ocurre cuando examinamos las regiones de procedencia: el 54.3 % proviene del este de Estados Unidos, solo el 29.4 % del sur y un

14.9 % del oeste. Es de resaltar que el 28.7 % proviene solo del estado de Nueva York. Estas concentraciones tan altas en un solo destino, región o estado emisor nos hace extremadamente vulnerables ante los efectos del cambio climático. Por ejemplo, una mayor frecuencia de tormentas invernales puede impedir el desplazamiento hacia Puerto Rico. También el aumento de la temperatura que extiende los períodos de verano o de calor podría desalentar los desplazamientos a Puerto Rico, pues los visitantes potenciales tendrían en sus ciudades temperaturas más cálidas.

Otro hallazgo del perfil geográfico de los turistas que nos visitan –y que se convierte en un reto para el destino– es que el 59.3 % de los turistas pernoctan en la región metropolitana de San Juan y Carolina (Condado e Isla Verde). Si a ello le sumamos los que pernoctan en la región este, con 16.2 %, entre ambas regiones suman el 75.5 % de las preferencias de pernoctación de los turistas que eligen a Puerto Rico como destino. El dato debe tomarse en cuenta a la hora de definir estrategias territoriales en el marco del cambio climático, ya que es evidente la concentración turística en esas dos regiones y los impactos que ello genera. El estudio del *Discover Puerto Rico* encontró que las regiones preferidas por los turistas son: región metropolitana (84 %), este (38 %), sur (25 %), oeste (21 %), norte (19 %) y la montaña (9 %). Otra vez, el patrón geográfico muestra que el área metropolitana y la región este son las más frecuentadas por los turistas.

Un análisis de las actividades (preferencias) que realizan los turistas indica que el uso de los recursos acuáticos y las playas abarca el 74.6 %, mientras que el ecoturismo alcanza un 27.2 % de preferencia. El estudio del *Discover Puerto Rico* segmenta las actividades acuáticas con un 53 % de preferencia y el uso playas con un 80 %. Los datos confirman el gran atractivo turístico de esos recursos. Algunas manifestaciones del cambio climático que pueden limitar las actividades acuáticas y playeras son las olas de calor, la erosión costera, la pérdida de la superficie de playa, la intrusión salina en los cuerpos de agua dulce y la destrucción de la infraestructura turística construida en la zona costera. Lo anterior implica que se tiene que comenzar a diseñar una estrategia para diversificar los productos turísticos en las dos regiones y en todas las demás para no perder competitividad. La estrategia debe considerar productos turísticos de la ruralía y la montaña, entre otros.

Cuando se analizan las preferencias sobre municipios para pernoctar, casi el 60 % de los turistas pernoctan en la región metropolitana. En la Tabla 22 vemos los municipios que ocupan las primeras 15 posiciones de mayor preferencia. Es evidente que San Juan y Carolina reciben a más del 50 % de los turistas. El dato es más relevante dado que la oferta hotelera en ambos municipios se concentra en las áreas de Condado e Isla Verde.

**Tabla 22.**

*Preferencias de pernoctación por municipio del visitante exclusivamente de vacaciones*

| Posición en preferencia | Municipio | Porcentaje de visitantes en 2017 |
|---|---|---|
| 1 | San Juan | 42 |
| 2 | Carolina | 11.5 |
| 3 | Río Grande | 5.3 |
| 4 | Fajardo | 3.6 |
| 5 | Dorado | 2.4 |
| 6 | Bayamón | 2.3 |
| 7 | Humacao | 1.7 |
| 8 | Rincón | 1.6 |
| 9 | Ponce | 1.5 |
| 10 | Vieques | 1.4 |
| 11 | Luquillo | 1.3 |
| 12 | Caguas | 1.3 |
| 13 | Guaynabo | 1.2 |
| 14 | Arecibo | 0.9 |
| 15 | Cabo Rojo | 0.9 |

Fuente: Junta de Planificación de Puerto Rico. Perfil del Visitante, 2017

Conocer las procedencia y preferencias geográficas de pernoctación de nuestros visitantes nos permite establecer estrategias de diversificación de destinos emisores y, por otro lado, estrategias de descentralización en la pernoctación en Puerto Rico ante los efectos del cambio climático. Con ello se reparte la carga del impacto medioambiental que conlleva la concentración de turistas. Se trata de estrategias a medio y largo plazo que requieren de instrumentos de planificación y mercadeo si el destino quiere ser competitivo y sostenible.

### 4.11.3. Riesgos, amenazas y vulnerabilidades para el sistema turístico puertorriqueño ante el cambio climático

El clima es un elemento identitario de Puerto Rico como destino turístico. Hoy día no existe relación alguna entre la planificación y gestión del turismo por parte de la Compañía de Turismo (CTPR)[614] y la conservación y preservación de los recursos territoriales. Por la exposición y vulnerabilidad de la isla al cambio climático, se debe insertar en la gestión del destino un modelo turístico de *gobernanza ambiental del turismo.* Planificar y gestionar el turismo bajo criterios e indicadores ambientales como modelo turístico permite establecer estrategias de adaptación y resiliencia, así como soluciones basadas en

[614] Aun cuando la Ley 10-1970 (según enmendada) cambia el nombre de Compañía de Turismo de Puerto Rico a Oficina de Turismo del Departamento de Desarrollo Económico y Comercio de Puerto Rico, toda

la naturaleza. La Tabla 23 muestra los impactos y consecuencias del cambio climático a los que Puerto Rico está expuesto, que requieren de estrategias de gestión ambiental turística. Una vez identificadas, corresponde a la CTPR establecer alianzas con las entidades de gobierno, la UPR y el tercer sector ambiental para que de los ingresos que produce el sector turístico se reinviertan en acciones de adaptación y resiliencia, y en el desarrollo de infraestructura turística básica.

**Tabla 23.**

*Impactos principales asociados al cambio climático y sus implicaciones para el turismo en Puerto Rico*

| Impacto | Consecuencias para el turismo | Sección del P-MARCC que se usa como fuente de referencia |
|---|---|---|
| Aumento de la temperatura y de la temperatura media anual | Cambios en los patrones de estacionalidad, olas de calor, aumento en los costos de aire acondicionado, cambio en las poblaciones y distribución de plantas, animales e insectos, cambios en la distribución de enfermedades infecciosas y el sargazo. Limitación de actividades turísticas al aire libre y boicot turístico en ciertas épocas del año. | 3.4.1<br>3.4.1.2<br>4.5.1.8 |
| Aumento de temperaturas en la superficie del mar | Aumento en el blanqueamiento de corales y degradación de los recursos marinos y de la estética en los destinos de buceo y esnórquel. Aumento de desarrollo y prevalencia de organismos patógenos en las playas. | 3.4.6<br>4.8.4 |
| Aumento del nivel del mar | Erosión e inundaciones costeras, pérdida de la superficie de playa, mayores costos para proteger y mantener los frentes marítimos e intrusión de aguas salinas en cuerpos de agua dulce. Aumento en el número de escombros, casas y edificios en abandono que no son removidos después de desastres o eventos de marejadas. Impacto significativo sobre el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín y algunos aeropuertos regionales. Impacto sobre el 79 % de la infraestructura hotelera y sobre los muelles de cruceros. | 3.4.4<br>4.8.1<br>4.8.2<br>4.7.2 |

la comunicación recibida a mayo del 2023 es bajo el nombre de Compañía de Turismo de Puerto Rico, nombre que se usará en el P-MARCC.

| Impacto | Consecuencias para el turismo | Sección del P-MARCC que se usa como fuente de referencia |
|---|---|---|
| Reducción en la precipitación y aumento en la evaporación | Escasez en recursos hídricos, conflictos sobre el uso del agua entre sectores, aumento en incendios forestales amenazando infraestructuras y recursos y afectando la demanda turística. Racionamiento de agua a hoteles turísticos. | 3.4.2<br>3.4.1.1<br>4.7<br>4.10 |
| Mayor frecuencia e intensidad de tormentas | Riesgo para las infraestructuras y recursos turísticos, mayores costos y pérdidas en seguros, costos asociados a la interrupción del suministro de energía eléctrica y de agua para hoteles y operaciones comerciales. | 3.4.3<br>4.7.3 |
| Mayor frecuencia de precipitaciones extremas o torrenciales[615] | Contaminación potencial de cuerpos de agua que puede influir en la calidad de las aguas subterráneas, lagunas y zonas de arrecife. Daños por inundaciones al patrimonio arquitectónico, cultural y natural, daños a infraestructura turística y efectos en la estacionalidad. Aumento de la contaminación de las playas y el consecuente cierre de playas. | 3.4.3<br>4.5.1.5<br>4.7.2<br>4.7.3 |
| Pérdida de la calidad del aire y del paisaje | La intrusión del polvo sahariano afectará la calidad de vida y el paisaje. Además, limitará actividades al aire libre. En casos extremos puede afectar el transporte aéreo. | 3.4.7<br>4.5.1.5<br>4.8<br>4.9 |
| Mayor frecuencia e intensidad de incendios forestales | Daños o pérdida de atractivos naturales y especies del destino, aumento en el riesgo de inundaciones y daños a la infraestructura turística. | 3.4.1.3<br>4.9 |
| Cambios en la biodiversidad terrestre y marina | Daños o pérdida de atractivos naturales y especies, alteración en la distribución natural de especies y aumento en aparición de enfermedades en áreas tropicales. Posible pérdida de bahías bioluminiscentes. | 4.5.1<br>4.8.1 y 4.8.2 |
| Cambios en el suelo (ej. niveles de humedad, erosión y acidez) | Daños o pérdida de recursos arqueológicos y otros recursos naturales con impacto en los atractivos del destino. Modificación o destrucción del paisaje. | 4.6, 4.9 y 4.10 |
| Playas afectadas por sargazo | Afectará el turismo porque los visitantes no quieren tomar sol o bañarse en una playa cubierta de sargazo. | 4.8 |

Fuente: Traducido y adaptado de Becken (2010)[616]

[615] Véanse en la sección 3.4.2 ilustraciones sobre tendencias y proyecciones de precipitación, además de un análisis de períodos (1955-1987 y 1988-2021).

[616] Becken, S. (2010). *The importance of climate and weather for tourism: literature review*, *Land, Environment and People* (LEaP Lincoln University).

Aunque se deben atender todos los impactos, las áreas de desafío para el sector turístico que requieren acción inmediata de parte de la CTPR son el aumento en la temperatura (olas de calor) y el aumento del nivel del mar. Las olas de calor[617] serán las que más incidirán directamente en la demanda turística tanto geográfica como estacional, por lo que se anticipa una disminución en el número de viajes a la costa (sol y playa). Ante ese reto surge la oportunidad de comenzar a planificar nuestros destinos del interior que ofrecerán mejor confort climático. Las zonas rurales, bosques y áreas naturales protegidas se convertirán en activos de alto valor en la búsqueda de los turistas por ese confort climático y esto requiere estrategias inmediatas de planificación turística, conservación y preservación. Nótese del estudio de *Discover Puerto Rico* antes citado que solo el 9 % de los turistas visitan en la actualidad la región de la montaña. Se prevé que en los próximos años eso cambiará, por lo que es momento de planificar.

De la misma forma, el aumento del nivel del mar[618], así como la erosión costera son manifestaciones del cambio climático que ya tienen efectos en nuestro destino, lo que implica pérdida de millas de playas y en algunos casos pérdida de espacios turísticos por completo.

En la Tabla 24 podemos ver los movimientos de línea de agua y playa, así como la erosión por zonas de interés turístico designadas en nuestro destino, donde casi el 5 % de estas presentan al menos dos efectos negativos. Llama la atención que las zonas de interés turístico de Naguabo-Humacao y Arecibo-Barceloneta muestran los cuatro impactos negativos presentados.

**Tabla 24.**

*Ejemplo del impacto del cambio climático en las zonas de interés turístico designadas en Puerto Rico*

| Zona de interés turístico | Migración de playa tierra adentro | Migración de línea de costa tierra adentro | Erosión costera | Erosión costera severa |
|---|---|---|---|---|
| Condado | | | | |
| Isla Verde | | | | |
| Ponce | | | | X |
| Coamo | | | | |
| Río Grande-Luquillo-Fajardo | | X | X | X |
| Guánica-Lajas | | | | |

[617] Véanse en la sección 3.4.1. una ilustración sobre Trayectorias de concentración representativas de la temperatura superficial promedio para Puerto Rico y, en la sección 3.4.1.2, una ilustración sobre eventos de temperatura mínima y máxima en estaciones de San Juan y Ponce.

[618] Véase en la sección 4.3.2.1 un mapa sobre la proyección del alza del nivel del mar para el 2050, de 5 pies, en el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín y sus posibles efectos.

| Zona de interés turístico | Migración de playa tierra adentro | Migración de línea de costa tierra adentro | Erosión costera | Erosión costera severa |
|---|---|---|---|---|
| Cabo Rojo | | X | X | |
| Hatillo-Camuy-Quebradillas | X | X | X | |
| Aguadilla-Isabela | X | X | X | |
| Aguirre-Bahía Jobos | | | | |
| Naguabo-Humacao | X | X | X | X |
| Vega Alta-Dorado-Toa Baja | X | X | | X |
| Rincón-Añasco | X | | | |
| Guayama-Arroyo | | | | |
| Arecibo-Barceloneta | X | X | X | X |

Fuente: Proyecto del Estado de las Playas Post María, Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico, UPR-RP.

El aumento en el nivel del mar como consecuencia directa del cambio climático producirá daños en las zonas portuarias, aeropuertos y pérdida de infraestructura turística en la región costera. Las proyecciones anticipan que se producirán inundaciones en las áreas de playa en territorios de llanura como es la región este. El destino tiene que tomar medidas a corto, mediano y largo plazo sobre dichas infraestructuras turísticas.

En síntesis, las manifestaciones del cambio climático propiciarán una redistribución del movimiento turístico, tanto para la selección de Puerto Rico como destino turístico como sus preferencias geográficas en el país por nuestra dependencia al turismo de sol y playa. Se requiere delinear estrategias de diversificación del producto turístico para ofrecer al turista opciones más allá de sol y playa. Las oportunidades para Puerto Rico van desde el turismo de naturaleza (aventura, ecoturismo y rural), turismo cultural[619], turismo musical, turismo gastronómico y turismo astronómico, entre otros.

A los efectos de entender la magnitud del reto que enfrenta Puerto Rico como destino turístico, la Tabla 25 detalla la infraestructura turística en riesgo, que requiere de medidas de adaptación y resiliencia, además de soluciones basadas en la naturaleza.

[619] Véase Organización Mundial del Turismo (2016) Alianza entre turismo y cultura en el Perú - Modelos de colaboración entre turismo, cultura y comunidad y OECD (2009) El impacto de la cultura en el turismo, OECD, París. (Traducción al español SECTUR México).

**Tabla 25.**

*Infraestructura turística en riesgo*

| Impacto | Categoría | Cantidad |
|---|---|---|
| Construida | Hoteles | 122 |
| | Aeropuertos | 7 |
| | Puertos | 12 |
| | Marinas | 18 |
| | Clubes náuticos | 13 |
| | Hospitales | 15 |
| | Plantas de generación eléctrica | 7 |
| | Kilómetros de carretera principal | 249 |
| | Kilómetros de infraestructura de agua potable | 200 |
| | Kilómetros de infraestructura de aguas sanitarias | 260 |
| | Plantas de tratamiento de aguas usadas | 19 |
| Natural[620] [621] [622] | Reservas de la biosfera | 2 |
| | Playas arenosas | 235 |
| | Áreas naturales protegidas | 156 |
| | Áreas marinas | 27 |
| | Manglares | 67 km2 |
| | Arrecifes | + 5,000 km2 |
| | Ríos | 224 |
| Cultural[623] | Propiedades del Registro Nacional | 348 |
| | Edificios, estructuras, sitios, objetos o distritos | 2,007 |
| | Museos | 74 |

Fuente: DRNA, Programa de Manejo de la Zona Costanera; Reimagina Puerto Rico; USDA, Inventario Detallado de Áreas Protegidas; y Oficina Estatal de Conservación Histórica.

[620] Sobre infraestructura natural refiérase al Inventario Detallado de Áreas Protegidas y Otros Mecanismos para la Conservación de Terrenos en Puerto Rico (USDA 2019) y Reimagina Puerto Rico Infraestructura Natural (Comisión Asesora para Puerto Rico Resiliente 2018).

[621] Sobre playas y acceso público a costas refiérase al Plan Estratégico para la Conservación y Mantenimiento de las Playas de Puerto Rico (DRNA 2014) y al Plan Maestro de Acceso Público a las Costas de Puerto Rico (DRNA 2014).

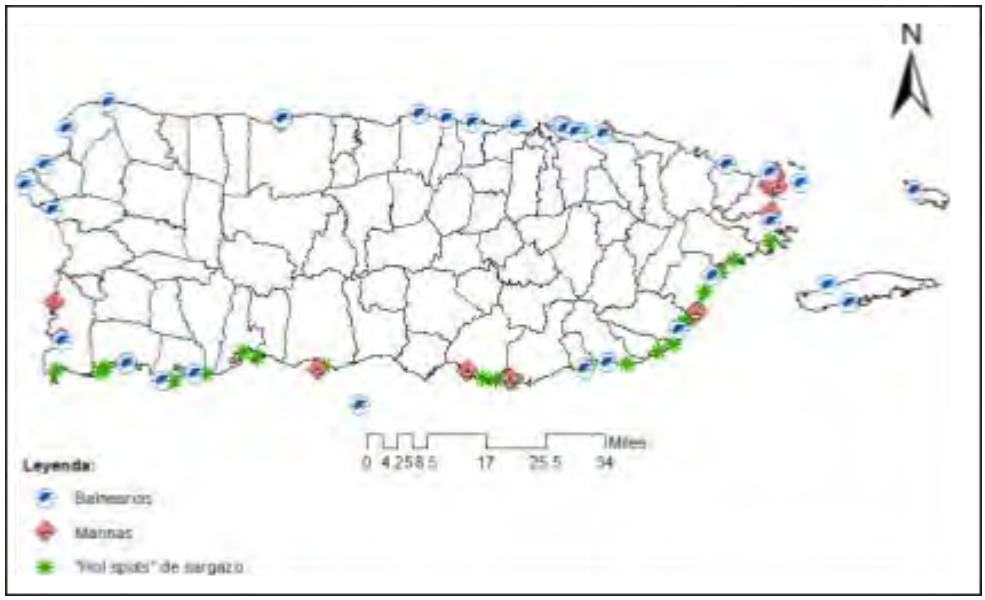
[622] Véanse las secciones de la 4.8 a la 4.10 del Plan.

[623] Oficina Estatal de Conservación Histórica.

La base de datos de la CTPR contiene información de 154 hospederías y 157 empresas endosadas y sus vulnerabilidades[624]. De este informe podemos ver en el Mapa # 1 la alta exposición de nuestra infraestructura hotelera. De las 154 hospederías endosadas, 122 (79 %) ubican en las zonas expuestas al aumento en el nivel del mar asociado al cambio climático.

**Mapa 1.**

*Hospederías endosadas en zona costera*



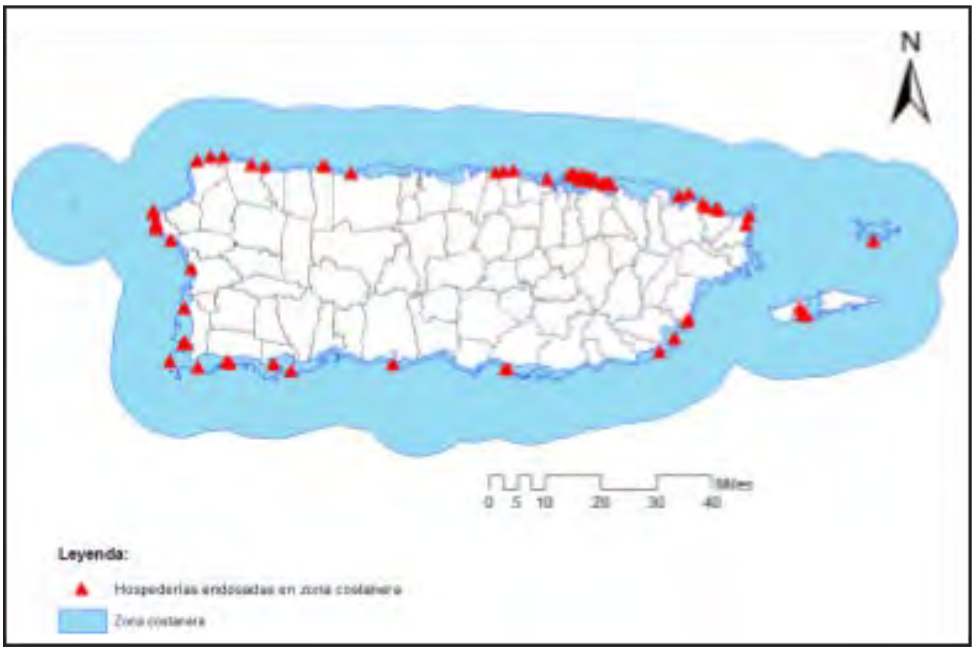

Fuente: CTPR

Del mismo informe se desprende que el 50 % (16/32) de los balnearios y el 72 % (13/18) de las marinas identificadas se encuentran en zonas de mayor tendencia a depósitos de sargazo (Mapa # 2). Esto representa un reto de calidad del producto turístico y de salud para el destino y sus visitantes. En los mapas # 3 y # 4 se observa la vulnerabilidad de las hospederías endosadas a la erosión costera y a las áreas inundables, respectivamente. Es evidente la alta exposición de estas instalaciones a los efectos del cambio climático.

[624] Véase el anejo 6, Informe de la Vulnerabilidad Turística de Puerto Rico redactado por la División de Turismo Sostenible de la Compañía de Turismo.

**Mapa 2.**

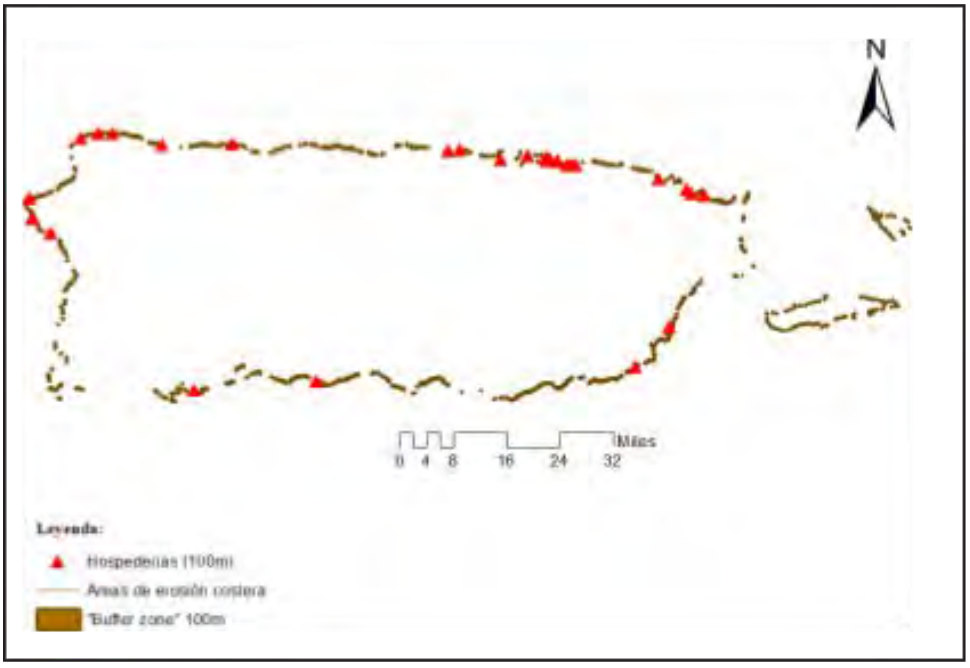
*Distribución espacial del sargazo, balnearios y marinas en Puerto Rico*




Fuente: CTPR

**Mapa 3.**

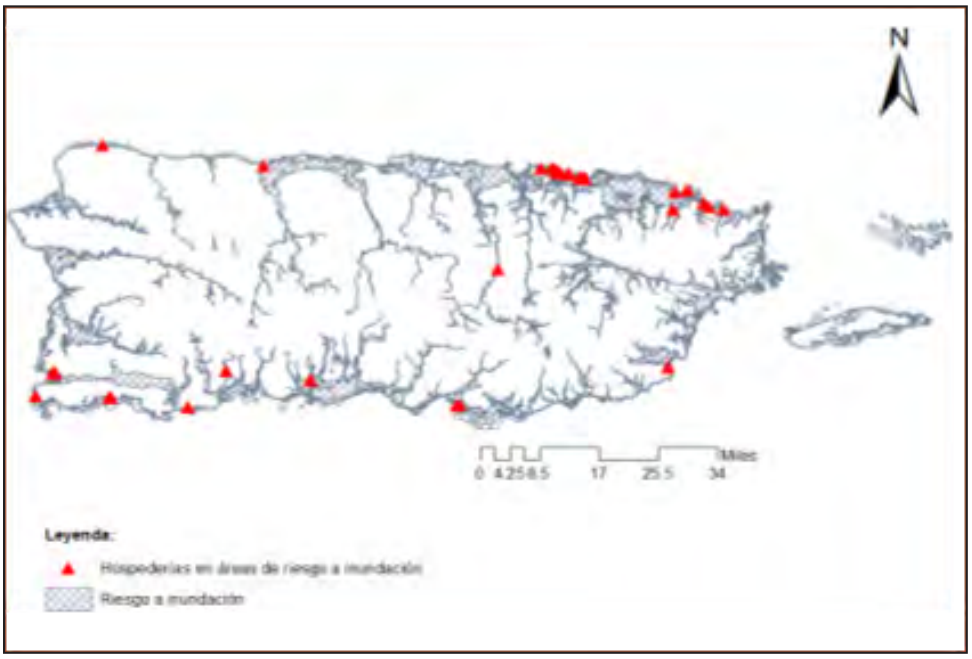
*Hospederías endosadas en áreas erosión costera*




Fuente: CTPR

**Mapa 4.**

*Hospederías endosadas en áreas inundables*




Fuente: CTPR

## 4.11.4. El sistema turístico puertorriqueño ante el cambio climático

### *4.11.4.1. Políticas públicas de planificación territorial del turismo*

Para que un destino turístico pueda atender con efectividad los retos del cambio climático se requiere que opere bajo un sistema de gestión turística climática, pero sobre todo que esté planificado para el turismo. Este sistema lo integran las leyes, reglamentos, planes y programas de desarrollo turístico que provean un marco de planificación estratégica basado en la conservación y preservación de los recursos territoriales.

El primer esfuerzo para la planificación territorial del turismo en Puerto Rico se hizo en el 1972 con la Ley 374 de 1949. El estatuto creó las zonas de interés turístico. No obstante, la primera designación se aprobó en el 1980. Al presente, hay quince designaciones. La política pública detrás de las zonas de interés turístico era, por un lado, identificar áreas del territorio con vocación y recursos territoriales con potencial turístico y, a la vez, delimitar el espacio territorial para la actividad turística. Sin embargo, este instrumento de planificación territorial del turismo no incluyó herramientas para su planificación, gestión y desarrollo, por lo que luego de su designación no se implementaron planes ni programas. Tampoco se estableció quién tenía la jurisdicción (o funciones) para impulsar las mismas. Ni los municipios ni la CTPR gestionan estas zonas,

salvo para atender solicitudes de incentivos para desarrollo turístico. En la Tabla 26 y el Mapa # 5 se muestran las quince zonas de interés turístico designadas. Salvo Coamo, todas están ubicadas en la costa y ninguna en zonas rurales o la montaña.

**Tabla 26.**

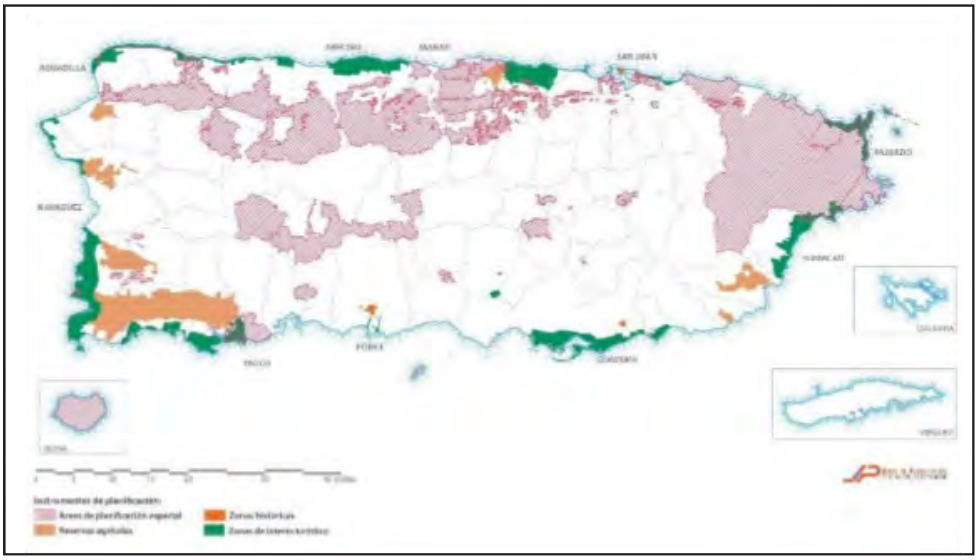
*Zonas de interés turístico designadas en Puerto Rico*

| Orden de designación | Nombre | # Resolución | Año |
|---|---|---|---|
| 1 | Condado | RP-16-0-80 (ZIT-1) | 1980 |
| 2 | Isla Verde | RP-16-0-80 (ZIT-2) | 1980 |
| 3 | Ponce | RP-4-13-91 (ZIT-3) | 1991 |
| 4 | Coamo | RP-4-17-93 (ZIT-4) | 1993 |
| 5 | Río Grande-Luquillo-Fajardo | RP4-18-93 (ZIT-5) | 1993 |
| 6 | Guánica-Lajas | JP-ZIT-1994-006 | 1994 |
| 7 | Cabo Rojo | JP-ZIT-1994-007 | 1994 |
| 8 | Hatillo-Camuy-Quebradillas | JP-ZIT-1996-008 | 1996 |
| 9 | Aguadilla-Isabela | JP-ZIT-1997-009 | 1997 |
| 10 | Aguirre-Bahía Jobos | JP-ZIT-2000-10 | 2000 |
| 11 | Naguabo-Humacao | JP-ZIT-2000-12 | 2000 |
| 12 | Vega Alta-Dorado-Toa Baja | JP-ZIT-2000-014 | 2000 |
| 13 | Rincón-Añasco | JP-ZIT-2000-011 | 2001 |
| 14 | Guayama-Arroyo | JP-ZIT-71-72 | 2011 |
| 15 | Arecibo-Barceloneta | JP-ZIT-06-07-01 | 2012 |

Fuente: Junta de Planificación de Puerto Rico.

**Mapa 5.**

*Zonas de interés turístico e histórico (2015)*



Fuente: Junta de Planificación. 2015

El segundo esfuerzo de planificación territorial del turismo se dio en el 2006 con la creación de las zonas de turismo sostenible en la Ley de Política Pública para el Desarrollo Sostenible del Turismo (Ley 254-2006), que las define como aquellas áreas con valor ecológico y cultural con potencial de desarrollo ecoturístico. Al presente no se conoce la designación de una sola zona de turismo sostenible.

El tercer y último esfuerzo surgió entre el 2005 y el 2016[625] cuando, sin considerar la existencia de las zonas de interés turístico ni las zonas de turismo sostenible, se impulsó el concepto de regiones turísticas (Mapa # 6) que al presente se componen del Destino Turístico Porta del Sol - Puerto Rico, el Distrito Especial Turístico de la Montaña, Porta Caribe, Porta Atlántico, Porta del Este y Región Metropolitana. El diseño de estas regiones tiene como reto la cantidad de municipios que las componen y la extensión territorial que abarcan. Ello impide una gestión efectiva del destino. Según todas las publicaciones del Perfil del Visitante de la Junta de Planificación que se han hecho luego del 2005, cuando se creó la Región Porta del Sol, esta nunca ha podido superar a la zona metropolitana ni a la zona este en desarrollo turístico. Haberla convertido en una región no representó un impulso o desarrollo turístico significativo.

[625] Ley 158 de 2005, Ley 54 de 2009, Ley 125 de 2016 y Ley 254 de 2006.

**Mapa 6.**

*Regiones turísticas de Puerto Rico (2005-2016)*




Aun cuando designar las zonas de interés turístico fue la primera legislación para la planificación territorial del turismo y pese a que la misma establece criterios claros para las designaciones, la regionalización turística utilizada como estrategia de mercadeo de destino es la más conocida. Desde que la Asamblea Legislativa o la Junta de Planificación designaron zonas de interés turístico, nunca se han aprobado planes de desarrollo o de infraestructura ni una estructura de gestión para estas.

El sistema de planificación y de gestión del destino es clave para poder responder con éxito a los retos del cambio climático. Se requiere que el Estado defina una política pública clara y uniforme de planificación y gestión del territorio turístico que empodere a los municipios para implantarla.

### *4.11.4.2. Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC 2016) de la Compañía de Turismo de Puerto Rico*

Esta es una excelente herramienta que, según informa la CTPR, está bajo revisión. No se tiene constancia de que el PACC se haya implantado o divulgado. Una revisión del documento permite conocer que, desde el 2016, la CTPR tiene un instrumento para la adaptación al cambio climático que no se logró implantar.

### *4.11.4.3. Indicadores de vulnerabilidad, adaptación y resiliencia*[626]

En el contexto del cambio climático y el turismo, los indicadores sirven para proporcionar información y datos estratégicos que permiten medir la sostenibilidad de un destino y de sus recursos mediante la relación de las condiciones climáticas con el turismo. No se encontró ningún documento en que el sector turístico puertorriqueño definiera indicadores ni la forma en que el sector habría de medirlos, aunque se reconoce que el PACC hace un acercamiento a definir medidas de adaptación y resiliencia que nunca se implantaron.

### *4.11.4.4. Retos detectados para el sistema turístico puertorriqueño ante el cambio climático*

Antes de actuar para enfrentar el cambio climático es preciso conocer lo que el turismo representa para Puerto Rico en números de visitantes. En la Tabla 27 se desglosa por años la cantidad de turistas que llegan a Puerto Rico y se observa que el visitante no residente supera en números a la población residente.

**Tabla 27.**

*Visitantes*

| Visitantes | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Total de turistas (M) | 8,119 | 7,046 | 6,989 | 8,303 | 4,873 | 8,109 |
| Turista no residente | 5,115 | 4,476 | 4,725 | 5,434 | 2,901 | 4,723 |
| Turista residente | 3,004 | 2,569 | 2,264 | 2,869 | 1,972 | 3,386 |

Fuente: *Discover Puerto Rico*

Lo anterior es un dato de importancia extrema por la carga sobre los recursos y servicios que ello representa. A la carga de los más de 3 millones de residentes hay que sumarle la presencia durante el año de unos 4,723 millones de turistas consumiendo recursos y generando impacto. Si a ello se le suma el hallazgo expuesto en la sección 4.11.2 de que el 75 % pernocta en las regiones metropolitana y este, la carga sobre esas áreas es significativa. Los recursos son limitados y muchos de ellos están en estado crítico y expuestos a los efectos del cambio climático. Cuando la población de turistas en el destino supera por mucho a la población residente, agrava las condiciones del suministro de servicios básicos que ya afectan a los locales.

[626] Véase UNWTO (2004). *Indicators of sustainable development of tourism destinations: a guidebook*. Madrid: United Nations World Tourism Organization.

De la investigación realizada y a base de los criterios que establece la Ley 33-2019, el primer diagnóstico que podemos hacer es que resulta imposible determinar la aportación o impacto que el sector turístico puertorriqueño tiene sobre los servicios básicos, como exponemos en la Tabla 28. No existen datos ni análisis al respecto. Por lo anterior, la CTPR tiene el reto de incorporar a su gestión la recopilación y el análisis de datos sobre los efectos medioambientales de su sector.

**Tabla 28.**

*Servicios básicos y el sector turístico en Puerto Rico*

| Recurso | Comentario |
|---|---|
| Agua potable[627] | Se desconoce el impacto del sector turístico en el consumo de agua. No existe un indicador de consumo por empresa turística como estrategia de sostenibilidad. Ante el cambio climático y los períodos de sequía[628] asociados, el sector turístico representa una demanda adicional del recurso agua, por lo que se deben establecer indicadores de consumo sostenible. |
| Suministro de energía[629] | El sector turístico disfruta de tarifas especiales y es un cliente con alta demanda del servicio eléctrico. No se tienen datos ni indicadores sobre un el impacto del sector en un sistema en estado crítico en Puerto Rico. |
| Disposición de residuos[630] | No se tienen datos de la cantidad de residuos que el sector turístico produce. El sector hotelero dispone de los desechos mediante proveedores de servicios privados. Tampoco se identificaron indicadores. |
| Reciclaje | No existe un programa de reciclaje del sector turístico. Puede haber programas en algunas empresas turísticas. No se tienen datos ni indicadores. |
| Atención primaria de salud[631] | No se tienen datos de las incidencias de salud de los turistas ni del uso del sistema de servicios de salud hospitalarios o ambulatorios. Ante el cambio climático es un reto incluir en la recopilación de estadísticas, por ejemplo, turistas atendidos por olas de calor y pueblo de ocurrencia, entre otros indicadores. |

[627] Véase la sección 4.7 del Plan.
[628] Véanse en la sección 4.7.1 Ilustraciones sobre episodios de sequía (2002-2022 y 1981-2022) y cambios en la climatología.
[629] Véase la sección 4.1 del Plan.
[630] Véase la sección 4.4 del Plan.
[631] Véase la sección 4.5 del Plan.

#### *4.11.4.5. Oportunidades detectadas para el sector turístico puertorriqueño*

Ante los efectos del cambio climático surge sin duda una presión sobre los recursos naturales de la ruralía y la montaña que nos debe invitar a planificar y gestionar el turismo desde una mirada medioambiental para conservar y preservar nuestros recursos territoriales. Si el sector turístico cuenta para su crecimiento con nuestros recursos naturales, no solo debemos pensar con urgencia en un modelo turístico con una estrategia de sostenibilidad turística. También debemos entender que los efectos del cambio climático podrían condicionar nuestra competitividad como destino afectando, por ejemplo, la demanda turística por las condiciones del clima o la pérdida de atractivos turísticos como las playas.

Algunas oportunidades para el destino son:

1. Incrementar el turismo en el área de la montaña durante los meses en que se registrarán temperaturas extremas (mayo a septiembre).

2. Las marejadas severas que causan los huracanes ayudarán a los arrecifes de coral a sobrevivir los efectos dañinos de las temperaturas extremas en el mar, como el fenómeno del blanqueamiento de corales.

3. Según se ha creado el nicho del turismo médico, se podría explorar la viabilidad de establecer el nicho de turismo científico dirigido a estudiar los impactos de las manifestaciones del cambio climático en el medioambiente tropical.

## 4.12. Educación

Puerto Rico y otras islas del Caribe son susceptibles a los efectos negativos del cambio climático antropogénico; “por ello, es importante que la educación sobre el cambio climático se desarrolle e implemente en la isla para que la población, especialmente su juventud, pueda adaptarse adecuadamente a sus efectos”[632]. En Puerto Rico se han aunado esfuerzos para educar a las personas sobre cómo los efectos del cambio climático afectan la vida y propiedad. Sin embargo, queda mucho por hacer. Los efectos del cambio climático en Puerto Rico se evidencian en múltiples estudios realizados por científicos locales, quienes afirman que todas las administraciones gubernamentales han ignorado estos análisis, vitales para la elaboración de un plan de adaptación que permita construir un país más resiliente y sostenible[633]. Se necesita educar a la población y a los líderes sobre la vulnerabilidad de las comunidades costeras al aumento del nivel del mar, los efectos del fenómeno isla de calor, los extremos de sequías, precipitación y erosión costera, entre muchos otros efectos del cambio climático.

Los eventos atmosféricos deben ser parte de la educación ambiental con énfasis en salvar vida y propiedad. Es importante enfatizar en los indicadores que afectan la sa-

[632] Raymond, E., Gagliano, M. & Cloutier, P. (2014). Developing an Educational Module on the Impacts of Climate Change on Puerto Rico and its Inhabitants. Obtenido de https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/1519.

[633] Estrada et al., (2018).

lud, la economía y el aspecto socioecológico. Por la posición geográfica, el país está propenso a experimentar todos los años temporadas de huracanes activas, por lo que la preparación para estos eventos suele ser parte de cada plan familiar. Sin embargo, otros efectos del cambio climático pueden aumentar la vulnerabilidad de muchas comunidades que no están preparadas con un plan de mitigación y adaptación.

La educación consiste en la creación y desarrollo evolutivo e histórico del sentido de vida y la capacidad de aprovechamiento de todo el trabajo con el que las personas se esfuerzan y al cual se dedican durante su vida, de manera individual y colectiva; ya sea bajo su propia administración, la dirección de otros, de organizaciones públicas, privadas o bajo la administración del Estado[634]. Uno de los mayores retos de la educación moderna es incorporar temas relacionados con el cambio climático. Antes del huracán María en el 2017, no se tenía una percepción clara de las implicaciones del cambio climático en Puerto Rico. Sí se conocía que existían. A pesar de que se ha evaluado la vulnerabilidad socioecológica debido al cambio climático, la educación al respecto no es suficiente.

El informe *Puerto Rico's Blueprint for Climate Change Mitigation and Adaptation* establece como un pilar y punto de referencia que es meritorio implementar un currículo escolar en temas de mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático. Para enfrentar los efectos del cambio climático no basta con adoptar políticas de adaptación y mitigación. Es preciso también contar con altos niveles de comprensión, consenso y trabajo participativo entre la ciudadanía, las empresas y las diferentes instancias del poder público si se quiere trascender las fronteras y actuar a nivel local, regional y global[635]. El desconocimiento de la población sobre el cambio climático debe considerarse como un asunto de emergencia.

Durante la década de 1970, el medioambiente tomó prominencia en Puerto Rico, no solo desde el ámbito comunitario, sino también a nivel político. Esto dio paso a la creación de la Ley Núm. 9 de Política Pública Ambiental. Las agencias de gobierno crearon departamentos y divisiones dedicadas a la educación ambiental y a brindar información a la comunidad, a través de eventos educativos tales como seminarios y conferencias cónsonos con esta ley. La creación del estatuto permitió el nacimiento de instituciones gubernamentales como la Junta de Calidad Ambiental y abrió el camino para nuevas leyes que resultaron en la creación del DRNA en el 1972. Esta ley surgió como consecuencia de la creación en 1970, en Estados Unidos, de la *National Environmental Policy Act*, bajo la jurisdicción de la EPA.

En la década de 1980, la UPR, Recinto de Rio Piedras, creó el Departamento de Ciencias Ambientales con el propósito de fomentar las carreras interdisciplinarias a nivel ambiental, desarrollar profesionales aptos para el campo laboral y promover la investigación y la educación en ciencias ambientales. En 2001, se creó el primer programa de televisión *Geoambiente*, dedicado a la conservación ambiental y a la discusión de los problemas ambientales de la isla. En 2002, la Universidad Metropolitana del Sistema

[634] León, A. (2007). "¿Qué es la educación?". *Enducere*. *11*(39): 595-604. Obtenido de http://www. redalyc.org/pdf/356/35603903.pdf.
[635] Cerati y Queiroz (2016).

Universitario Ana G. Méndez (ahora Universidad Ana G. Méndez, Recinto de Cupey) creó el Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible.

En 2005, la UPR, Recinto de Carolina, en conjunto con la Universidad Complutense de Madrid y la *NASA Space Grant Consortium* presentaron el primer curso de verano titulado *Gases de efecto invernadero y cambio climático*. En este curso participaron científicos de diferentes países con el propósito de proveer recomendaciones para crear conciencia en el gobierno y en la población sobre los efectos del cambio climático.

En 2013, el PRCCC junto a colaboradores y afiliados redactaron el documento titulado *Evaluando la vulnerabilidad socioecológica de Puerto Rico en un clima cambiante*. A pesar de que el documento contiene toda la información necesaria para "formular e implantar política pública, la planificación y el desarrollo de las áreas costeras, así como fortalecer los procesos de educación y concienciación ciudadana sobre los riesgos y las alternativas de adaptación a escenarios climáticos futuros"[636], no contiene una sección específica donde se describa qué se podría hacer para educar más al público en general, y solo se concentra en áreas costeras. Sin embargo, el documento menciona la importancia de los estudios de percepción para conocer la manera en que las personas piensan y perciben la costa, los ecosistemas marinos, la infraestructura, la agricultura y los recursos hídricos, por ejemplo, para poder crear programas de educación destinados a informar al público.

En 2016, el DRNA redactó el primer borrador de un plan de adaptación ante los cambios climáticos. En este plan tampoco se incluyó una sección dirigida a cómo se educaría a la población general sobre el cambio climático.

El Centro de Educación en Cambio Climático y Ambiental (CenECCA) es un proyecto de *Sea Grant Puerto Rico* con el propósito de atender las necesidades de información científica orientada al desarrollo de acciones, programas, actividades y política de adaptación relacionadas al cambio climático, que incluye peligros naturales y el aumento del nivel del mar, con tal de minimizar los impactos sociales y ambientales adversos en potencia"[637]. Desde el 2013, CenECCA educa al público general sobre la complejidad que implica el cambio climático, por medio de una variedad de actividades. Junto con la EPA, el DRNA y CariCOOS, se dirigen a sus pares, al público, a los manejadores de recursos, a los responsables de la toma de decisiones y a los oficiales de gobierno con el objetivo de instruir, educar, crear capacidad y diseño de políticas destinadas al desarrollo de acciones para la formación de un público informado y de una zona costera resiliente que enfrente los retos y desafíos del cambio climático, los peligros naturales, el aumento en el nivel del mar y las actividades humanas. Además, *Sea Grant* creó unas guías curriculares para maestros sobre los ecosistemas marinos, así como una guía específica sobre el cambio climático. Esta guía incluye un trasfondo científico sobre el tema, planes educativos alineados a los estándares del Departamento de Educación de Puerto Rico, actividades, una preprueba y posprueba, y un manual para los estudiantes, entre otros[638].

[636] PRCCC, 2013.
[637] *Sea Grant Puerto Rico*, 2021.
[638] Alicea, 2021.

Hasta el 2021, alrededor de 1,047 maestros se habían adiestrado con estas guías y 163,737 estudiantes participaron en estas actividades[639]. Además, en 2019 se presentó el libro *Puerto Rico y el Mundo: el Cambio Climático*, escrito por expertos en colaboración con la Fundación Amigos de El Yunque. Este libro funciona también como guía de estudio para que los maestros puedan impartir los temas relacionados con el cambio climático de forma sencilla y puntual. La profesora Minnuette Rodríguez preparó una guía para que los maestros pudieran utilizar el libro en sus clases de forma fácil y sencilla. Es importante discutir otros temas o conceptos que tienen conexión con el cambio climático: Ley de conservación de masa, eras geológicas, ciclos biogeoquímicos, atmósfera terrestre y zonas climáticas[640]. La guía ayuda al maestro a encontrar esa conexión a la hora de enseñar el tema de cambio climático. Otro recurso educativo es el libro *Calentamiento Global: La huella humana*, escrito por el Dr. Méndez Tejeda. El texto se enfoca en la divulgación del conocimiento científico que nos conduce a identificar y ejecutar cursos de acción para atender los problemas causados por el cambio climático.

Como programa de educación científica a las comunidades, el EcoExploratorio: Museo de Ciencias de Puerto Rico cubre el tema del cambio climático. Bajo la plataforma digital Ciencia Virtual, el museo ha ofrecido decenas de talleres con científicos y expertos sobre cambio climático para las comunidades, al igual que desarrolla actividades comunitarias. El museo tiene el proyecto “Tierra Viva”, que incluye una publicación de 12 páginas con información sencilla sobre el cambio climático. Se destaca un proyecto que realizó para niños bajo subvención de la Fundación Comunitaria de Puerto Rico, que ofrece acciones positivas para todas las edades. También consta de videos que ilustran estos conceptos para niños y jóvenes. El EcoExploratorio es miembro de la Comisión Europea bajo el Directorado de Ambiente en Bruselas en la Comisión de Biodiversidad para educar junto a otros 100 museos del mundo sobre el cambio climático y la biodiversidad.

Por otro lado, la meteoróloga Ada Monzón hizo el primer y único documental educativo sobre cambio climático en la isla, conocido como *Puerto Rico ante el Cambio Climático*, transmitido a través de WAPA TV el martes, 20 de abril de 2021. También preparó un video para la Organización Meteorológica Mundial.

### 4.12.1. ¿Qué impactos ha tenido la información divulgada en Puerto Rico sobre el cambio climático en todos los sectores?

A continuación, se resumen los hallazgos de investigaciones y estudios realizados en Puerto Rico sobre percepción ciudadana ante el cambio climático:

1. Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico (2013). Estado del Clima de Puerto Rico 2010-2013 Resumen Ejecutivo: Evaluación de vulnerabilidades socio-ecológicas en un clima cambiante[641].

[639] Ídem.
[640] Rodríguez (2021).
[641] Véase en: https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/puerto-rico-usvi-bvi/PRCCC.--2013.--Assessing-Social-ecological-Impacts-PR-CC.--[ESP].pdf.

Del estudio realizado se resalta el siguiente aspecto más importante que justifica y permite establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana: De todos los planes de mitigación de riesgos para los municipios de Puerto Rico, solo Naguabo, Peñuelas, Yauco, Hatillo, Salinas y Toa Baja mencionan los términos “cambio climático”, “calentamiento global” o “aumento del nivel del mar”. Estos términos importantes fueron incorporados en el 2020, luego de que se revisaran y aprobaran los nuevos planes de mitigación contra peligros naturales para los 78 municipios, de los cuales FEMA aprobó 62.

2. Diálogo sobre política pública para adaptación al cambio climático: diagnóstico y recomendaciones (2015).

Contexto del estudio: El Programa *Sea Grant* convocó a un diálogo en mesa redonda con 17 expertos que incluyeron científicos, académicos, representantes de agencias gubernamentales estatales y federales, comunicadores y representantes de organizaciones ambientales. Además, se realizaron entrevistas con 11 expertos que no participaron en la mesa redonda**.** En el estudio realizado bajo la Iniciativa de Adaptación al Cambio Climático en Comunidades Costeras (2015) los participantes expresaron sus percepciones y recomendaciones de las cuales se pueden resaltar los siguientes aspectos más importantes que justifican y permiten establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana:

a. Prevaleció la percepción de que la ciudadanía en general, a excepción de la comunidad académica y del sector ambientalista, sabe poco sobre el cambio climático, y no tiene una idea clara de su efecto sobre Puerto Rico.
b. Los ciudadanos no saben cómo prepararse ante los posibles impactos y piensan que las acciones que se requieren para atender los problemas que puedan surgir están fuera de su control.
c. La ciudadanía no percibe los riesgos y efectos del cambio climático de manera inmediata.
d. Señalaron que la ciudadanía depende de que FEMA u otras agencias le comuniquen oportunamente qué hacer en casos de emergencia.
e. Señalaron un estudio de percepción pública realizado por el DRNA en 2009 que reveló que aproximadamente el 81 % de la población de ocho municipios costeros del oeste están conscientes de los riesgos que enfrentan y tienen un grado de preocupación sobre el cambio climático.
f. Expresaron que en la ciudadanía hay falta de un sentido de país y de dirección y la práctica de que hasta que la ciudadanía no experimenta los estragos de un evento de peligro máximo (por ejemplo, un huracán de categoría 3 o mayor) no internaliza la necesidad de tomar medidas preventivas y de preparación.
g. Enfatizaron que las medidas de educación, divulgación y acción a nivel comunitario deben proveerse prioritariamente en comunidades costeras y de mayor vulnerabilidad a la pérdida de la costa y a inundaciones.

Recomendaciones presentadas:

a. Capitalizar las pequeñas crisis relacionadas con el clima que ocurren en Puerto Rico y vincularlas con los pronósticos del cambio climático, con el fin de ilustrar

la inmediatez y lo cotidiano de la problemática. Ejemplos tangibles ayudarían a la ciudadanía a entender qué puede esperar.

b. Reformular el concepto de cambio climático para que sea accesible e inmediato a los intereses del público en general, que lo pueda entender e internalizar. Por ejemplo, presentar el tema en términos de "adaptación a eventos climáticos".

c. Contextualizar el tema dentro de la realidad de Puerto Rico para que la ciudadanía pueda relacionarse con el mensaje.

d. Llevar la discusión del tema más allá del campo de las ciencias; perseguir que se convierta en tema de conversación cotidiana entre los ciudadanos.

3. Percepción sobre el cambio climático en un periodo de crisis económica: el caso de Puerto Rico (2017).

Contexto del estudio: Cuestionario suministrado en el área metropolitana y la región este central con un total de 374 participantes mayores de 21 años. Del estudio realizado por Méndez Tejeda en 2017 se pueden resaltar los siguientes aspectos más importantes que justifican y permiten establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana:

a. No existe un conocimiento informado de los impactos del cambio climático en la ciudadanía.

b. Los ciudadanos expresan que para combatir el cambio climático confían mayormente en las organizaciones ambientales (46.15 %), seguido por la comunidad científica (42.73 %).

c. El nivel de responsabilidad para enfrentar el cambio climático se les adjudica mayormente a los ciudadanos 81.87 %, luego a las empresas 78.20 %, y al Estado 70.72 %.

d. El 82.69 % de la población entiende que el gobierno debe darle prioridad a educar a la población sobre los impactos del cambio climático. La acción del Estado debe dirigirse a proteger el recurso de agua potable y la reforestación, opinó el 82 % de los encuestados.

e. El 75.21 % de los encuestados expresó que las acciones individuales no serán efectivas si los responsables principales no participan de forma activa.

f. El 81.62 % de los participantes manifestó interés en participar en actividades para combatir el cambio climático. Esto es cónsono con que el gobierno y las organizaciones ambientales deben ser más activos en las campañas educativas.

4. Estudio de percepción pública sobre el riesgo y la resiliencia al cambio climático en Puerto Rico (2018).

Contexto del estudio: Se realizó por Estudios Técnicos, Inc. solicitado por el Programa de la Zona Costera y Cambio Climático del DRNA. Se encuestó a personas en 1,000 hogares del área metropolitana de San Juan. Del estudio se pueden resaltar los siguientes aspectos más importantes que justifican y permiten establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana:

a. Los medios de comunicación tradicionales y emergentes son los preferidos por la población para informarse sobre el cambio climático y los riesgos asociados: televisión (58.6 %) y redes sociales (45.5 %).

b. El cambio climático ocupaba la novena posición entre los principales problemas indicados, junto con la crisis fiscal. Los primeros fueron: la criminalidad, el desarrollo económico y la corrupción.

c. El 66.7 % de las personas encuestadas indicó desconocer lo que es el cambio climático.

d. Las personas encuestadas expresaron que el ámbito municipal y el país en general no están preparados para el cambio climático.

e. Los municipios no costeros tienen el promedio mayor de personas que piensan que la Legislatura, los municipios (alcaldes y legislaturas municipales), las organizaciones sin fines de lucro y comunitarias, y su comunidad deben darle mayor prioridad al tema de cambio climático en su gestión.

f. En la Tabla 29 se presentan las preocupaciones que más se asocian al cambio climático en Puerto Rico y son de prioridad para los encuestados.

**Tabla 29.**

*Preocupaciones principales asociadas al cambio climático en Puerto Rico*

| | Frecuencia | % |
|---|---|---|
| Huracanes o tormentas tropicales más fuertes | 620 | 62.0 |
| Aumento de plagas (ej. mosquitos) | 331 | 33.1 |
| Más calor (o calor intenso que le dificulta o impide hacer sus actividades cotidianas) | 315 | 31.5 |
| Más erosión costera | 274 | 27.4 |
| Se inundan áreas que antes no se inundaban | 246 | 24.6 |
| Mayores inundaciones costeras | 226 | 22.6 |
| Lluvias más fuertes no asociadas a tormentas o huracanes | 204 | 20.4 |
| Mayores inundaciones por el desbordamiento de ríos, quebradas o sumideros | 196 | 19.6 |
| Más sequía o falta de agua por poca lluvia | 183 | 18.3 |
| Marejada más fuerte (no asociada a tormentas o huracanes) | 146 | 14.6 |
| Terremotos | 4 | 0.4 |
| Más basura | 2 | 0.2 |

Tabla # 27 del Estudio de percepción pública sobre el riesgo y la resiliencia al cambio climático en Puerto Rico (2018). La tabla en el documento original incluye la siguiente nota: La base numérica de esta tabla está compuesta por las 1,000 personas que participaron en la encuesta. Al ser una pregunta de respuestas múltiples, se realiza un conteo independiente para cada una de las respuestas mencionadas y la suma de porcientos puede ser distinta al 100 %. Por otro lado, esta pregunta incluye las respuestas mencionadas por más de una persona.

Acciones inmediatas para el componente educativo, según los encuestados:

a. El 97.6 % expresó que se debe educar para que las personas conozcan los riesgos en las áreas donde viven y trabajan.
b. El 96.6 % expresó que se debe educar sobre las medidas existentes para la protección y adaptación.
c. El 93.4 % expresó que se debe educar sobre las oportunidades de negocios que surgen de la adaptación al cambio climático.
d. El 68.4 % expresó que la barrera o limitación principal para que las personas lleven a cabo actividades o acciones dirigidas a abordar los impactos del cambio climático es la falta de información específica sobre las medidas o acciones disponibles.
e. La Tabla 30 identifica los temas que los participantes entienden que se deben considerar a la hora de educar a la ciudadanía y que son de su interés.

**Tabla 30.**

*Temas para educar a la ciudadanía*

| Tema | % |
|---|---|
| **Las distintas causas del cambio climático** | **90.8** |
| **Los posibles riesgos y consecuencias del cambio climático en Puerto Rico** | **90.7** |
| **Las formas en que me puedo preparar para manejar (adaptarme) a los efectos del cambio climático** | **90** |
| **Los posibles riesgos y consecuencias asociados al cambio climático en mi hogar** | **90.2** |
| **Medidas para reducir los efectos del cambio climático (luchar contra el cambio climático)** | **89.5** |
| **Los posibles riesgos y consecuencias del cambio climático en mi comunidad** | **88.5** |
| **Las oportunidades que surgen del cambio climático** | **84.3** |
| **No sabe / No indica** | **1.9** |

Tabla basada en la Gráfica 39 del Estudio de percepción pública sobre el riesgo y la resiliencia al cambio climático en Puerto Rico (2018). El documento original señala que la base numérica está compuesta por las 1,000 personas que participaron en la encuesta. Al ser una pregunta de respuestas múltiples, se realiza un conteo independiente para cada una de las respuestas mencionadas y la suma de porcientos puede ser distinta al 100 %. Por otro lado, esta pregunta incluye las respuestas mencionadas por más de una persona.

a. Los participantes mencionaron como sus medios preferidos para aprender sobre el cambio climático: televisión (58.6 %); redes sociales (45.5 %); radio (40.9 %); internet (35.4 %); charlas, orientaciones y ferias informativas (20.4 %); literatura, hojas sueltas y otra promoción escrita (19.3 %); correo electrónico (*email*) y correo postal (18.8 % cada una).

5. Estudio de necesidades: Construyendo resiliencia a través de la innovación educativa (2020). EcoExploratorio.

Contexto del estudio: El personal del EcoExploratorio realizó este estudio con maestros, estudiantes y con el público en general que participa en las actividades del EcoExploratorio. En total, 102 personas de todo el país respondieron el cuestionario virtual. Sus edades fluctuaron entre los 14 y 45 años. Del estudio se pueden resaltar los siguientes aspectos más importantes que justifican y permiten establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana:

a. Las personas expresaron que desean aprender sobre el tema de resiliencia y fenómenos naturales.
b. Las personas indicaron que tienen acceso a plataformas digitales para poder conectarse y aprender más sobre estos temas.

6. *Perceptions of Climate Change in Puerto Rico before and after Hurricane Maria* (2021).

Contexto del estudio: Lo dirigió el Dr. Méndez Tejeda en seguimiento al estudio previo, seis meses después del impacto del huracán María. Este estudio mostró que la cantidad de personas con conocimiento general sobre el cambio climático global aumentó de 43% a 62 %[642]. Considerando la destrucción severa que el fenómeno atmosférico provocó en el país, los investigadores entienden que este aumento es leve. Aquellas consecuencias devastadoras del huracán que se prolongaron por meses no provocaron que la ciudadanía en general tomara la iniciativa de llevar a cabo acciones diferentes que le protegieran de situaciones similares en el futuro. Este es el primer estudio en Puerto Rico que demuestra que después de un evento catastrófico muchas personas reconocen los impactos del cambio climático y sus efectos, pero no necesariamente se correlaciona con hacer cambios trascendentales en su percepción ambiental. Es de suma importancia que se promueva la enseñanza no solamente sobre el cambio climático sino para el manejo de emergencias como individuos y familias.

Es necesario considerar que los niveles de pobreza y la falta de viviendas asequibles limita a muchas familias a tomar la decisión de mudarse a zonas menos vulnerables a eventos atmosféricos y de mayor susceptibilidad a los efectos de cambio climático. Ante estos escenarios sobre el conocimiento público en torno al cambio climático, las escuelas tienen un rol importante en el desarrollo de las comunidades, ya que proveen espacios saludables para la incorporación de toda la ciudadanía[643]. Esto permite que toda la comunidad colabore en conjunto como un ecosistema saludable y sustentable con sentido de pertenencia, con el fin de crear centros educativos de alto rendimiento a través de alianzas y acuerdos de colaboración que promuevan la gestión educativa de excelencia.

[642] Méndez-Tejeda, R., Santos-Corrada, M. y Mena, S. (2021). "Perceptions of Climate Change in Puerto Rico Before and After Hurricane Maria." https://www.scirp.org/pdf/ajcc_2021042615214652.pdf.

[643] Mendoza Indalecio, U & Rodríguez López, O. (2021). "Percepción social del cambio climático en estudiantes de Bachillerato Técnico en Jiutepec, Morelos, México". *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* (4), DOI: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8426224

7. Estudio de Percepción sobre el Cambio Climático en Maestros/as de Ciencias del Sistema Público y Privado de Puerto Rico y Encargados de Educación en el Hogar (*Homeschooling*) (2023).

Contexto del estudio: Este estudio se realizó para conocer la percepción de maestros de ciencias de escuelas públicas y privadas, y encargados de *Homeschooling* de Puerto Rico. En total, 102 participantes completaron el cuestionario. La muestra incluyó a maestros y encargados de *Homeschooling* de 40 pueblos que contaban con experiencia laboral de entre 4 hasta 40 años como docentes en diversas materias. Del estudio realizado por la Dra. Keyla Soto se pueden resaltar los siguientes aspectos más importantes que justifican y permiten establecer estrategias educativas eficientes según la percepción ciudadana:

1. El 84.3 % expresó que la falta de conocimiento en el país sobre el cambio climático le causa mucha preocupación como docente.

2. El 88.2 % está completamente de acuerdo en que el tema de cambio climático y sus efectos requiere más información con imágenes y visuales pertinentes a Puerto Rico a la hora de educar.

3. El programa de preparación de maestros de ciencias en las universidades debe incluir en el currículo un curso de educación ambiental y cambio climático; de los participantes, el 87.3 % expresó estar totalmente acuerdo con la premisa.

4. Se deben colocar letreros en áreas públicas que orienten a las personas sobre la importancia del consumo responsable de agua, manejo de desperdicios sólidos y el ahorro de energía. El 89.2 % expresó estar de acuerdo.

5. Los resultados presentan que solo el 39.2 % utiliza siempre el material del DE para enseñar el tema de cambio climático.

Para abril de 2022, Puerto Rico tenía 753 escuelas públicas hábiles y 107 en construcción[644]. El Departamento de Educación tiene alrededor de 26,000[645] maestros en los planteles. La comunidad de aprendizaje era de 254,997 estudiantes en el año académico 2021-2022[646]. Las escuelas están divididas por regiones educativas entre San Juan, Bayamón, Caguas, Humacao, Arecibo, Ponce y Mayagüez. El Programa de Ciencias del DE les ofrece a los estudiantes desde kínder hasta duodécimo grado cursos que integran Ciencias en el nivel elemental, Ciencias Biológicas, Ciencias Físicas y Ciencias Terrestres para el nivel intermedio y Biología, Química, Física o Ciencias Am-

[644] Portal Informativo del Ciudadano, Educación. https://datos.pr.gov/datacardscollection/regreso-a-clases.

[645] Colón Dávila. J. (3 de mayo de 2022). "Educación deberá llenar al menos 2,685 plazas de maestros que han mostrado interés de jubilarse". *Primera Hora.* https://www.primerahora.com/noticias/gobierno-politica/notas/educacion-debera-llenar-al-menos-2685-plazas-de-maestros-que-han-mostrado-interes-de-jubilarse/.

[646] Portal Informativo del Ciudadano, Educación. https://datos.pr.gov/datacard/distribucion-de-matricula-por-dias-presenciales?parent=UmVncmVzbyBhIGNsYXNlcw==&parentPath=ZGF0YWNhcmRzY29sbGVjdGlvbi9yZWdyZXNvLWEtY2xhc2Vz

bientales para el nivel superior. En su reciente revisión curricular de 2022, el Programa de Ciencias identifica como una de sus metas que los estudiantes tengan conciencia ambiental y ecológica, y reconozcan que son parte del ambiente al proceder como ciudadanos responsables por medio de acciones, cualidades, valores y destrezas. Según la Carta Circular Núm. 07-2022-2023, con estos cambios se fomentarán experiencias educativas que redunden en el desarrollo o el fortalecimiento del pensamiento crítico y creativo de los estudiantes para ser ciudadanos hacedores del cambio para alcanzar un futuro sustentable para Puerto Rico.

El nuevo currículo provee la oportunidad de concienciar desde el nivel primario sobre el impacto humano o impacto antropogénico en los sistemas de la tierra y promueve que sean los estudiantes quienes busquen alternativas para mitigar ese impacto. Dentro del enfoque actual, los estudiantes estudian también los aspectos biológicos, físicos y químicos de los sistemas terrestres y, por medio del currículo, se fomenta la educación en materia de mitigación y de adaptación al cambio climático. Uno de los grandes efectos que tendrá este nuevo cambio curricular es a través de los temas transversales.

Estos temas se trabajan en las áreas del currículo como una serie de elementos del aprendizaje, integrados a las diferentes áreas de conocimiento. El programa de Ciencias ha trabajado uno de los temas transversales que se relaciona directamente con el artículo 4 de la Ley 33-2019: la educación para la concienciación ambiental y ecológica.

### 4.12.2. Deficiencia en la divulgación sobre cambio climático en todos los sectores

Según el informe de la Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (2019), la educación se considera una alternativa de adaptación; por lo tanto, lo que se proponga debe ser pensado desde un enfoque local, considerando las características y las necesidades de las personas. Asimismo, se deben establecer procesos pedagógicos que ayuden a gestionar el aprendizaje que se quiere transmitir, pues el contenido y la forma en que se enseñen no pueden ser iguales para todas las personas.

La divulgación del cambio climático se debe desarrollar teniendo en cuenta la educación formal, la educación no formal y la educación informal, ya que estos tres tipos de educación se complementan. Los tres contribuyen en nuestra formación a lo largo de nuestras vidas. Además, de esta manera se puede llegar a más personas y no solo centrarse en los sistemas escolarizados. La educación formal se refiere al sistema educativo escolar, institucionalizado y organizado. La educación no formal se refiere al conjunto de actividades educativas organizadas y sistemáticas que se realizan fuera del sistema escolar formal para facilitar determinados tipos de aprendizaje a subgrupos particulares de la población, tanto de adultos como de niños. La educación informal es el proceso no organizado y no sistematizado de adquisición de conocimientos, habilidades, actitudes y pautas de conducta a través de la convivencia diaria, la influencia generalizada y los medios de comunicación, y que además en la actualidad se ve reforzada por la posibilidad que ofrecen las tecnologías de la información.

Según el PRCCC en su informe *Ruta hacia la Resiliencia*, para que todo ciudadano pueda anticipar, responder o adaptarse a los cambios, necesitará contar con información confiable para conocer y priorizar las medidas de acción preventiva. Es sumamente importante que las personas responsables de la toma de decisiones conozcan con claridad cuáles poblaciones, sectores y ecosistemas están en mayor riesgo, para así poder evaluar las consecuencias del cambio climático y poder enfocar las acciones de mitigación, adaptación y resiliencia. Del proceso de entrevistas a los diversos sectores identificamos que muchas agencias han presentado información sobre aspectos educativos relacionados con el cambio climático que han realizado como iniciativas, pero la gran mayoría de estas agencias no posee evidencias ni análisis del alcance que han tenido, el resultado de las iniciativas ni la continuidad de estas.

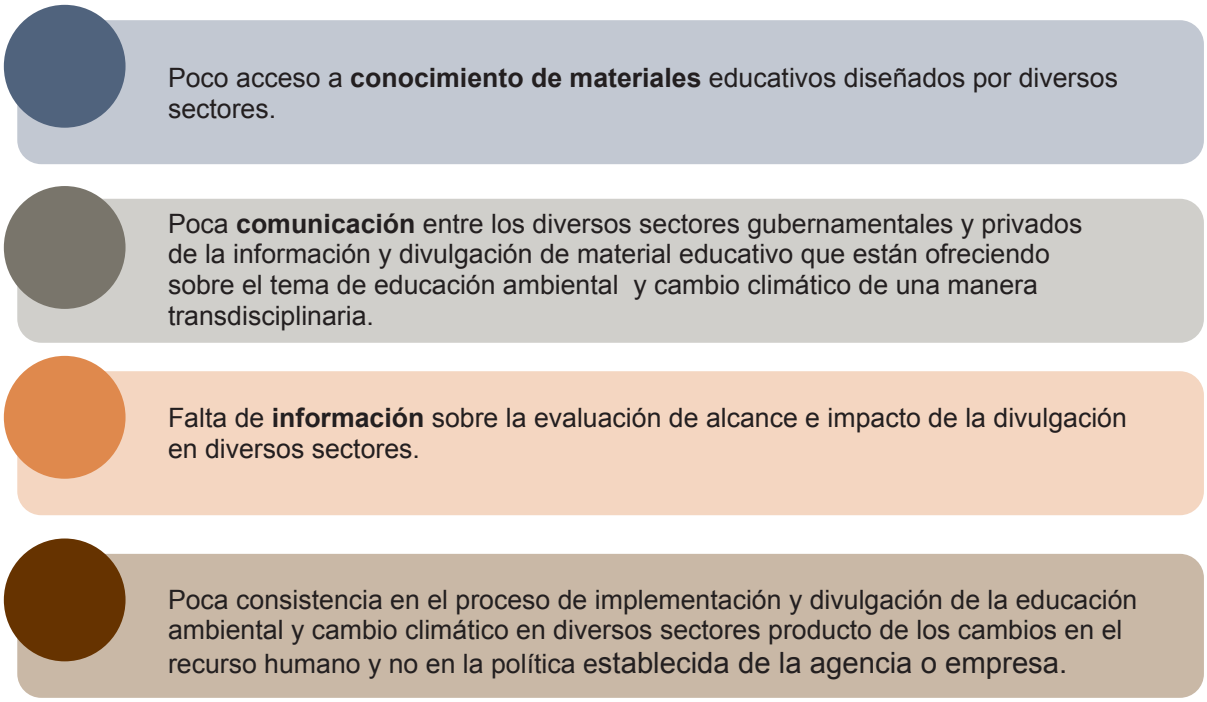
En el 2014, se realizó un Plan de Comunicación Ambiental para la Conservación de los Arrecifes de Coral de Puerto Rico. Los hallazgos más relevantes del estudio sobre los materiales educativos diseñados para la divulgación en diversos sectores fueron los siguientes:

a. Existe una amplia diversidad de materiales educativos dirigidos a diferentes grupos de interés sobre el tema de conservación y protección de los arrecifes de coral.
b. Los materiales educativos no necesariamente tienen conexión entre ellos para conformar una unidad coherente de comunicación sobre conservación y protección de los arrecifes de coral.
c. Las actividades para la distribución y la promoción de estos materiales son esencialmente las conferencias en las escuelas ofrecidas por los desarrolladores de los materiales, los talleres a los maestros, celebraciones de significado ambiental, tales como el Día del Planeta Tierra y los simposios científicos.
d. Existe poca o ninguna comunicación entre las oficinas del DRNA, al punto de que en ocasiones el personal no reconoce la información producida por la misma agencia.
e. No hay comunicación con otras agencias de gobierno ni con organizaciones no gubernamentales previo a la producción de materiales de comunicación y educación ambiental para evitar duplicidad o promover proyectos colaborativos entre las organizaciones.

Estos hallazgos ponen en perspectiva una problemática en cuanto al manejo de la información, divulgación y material educativo que en muchas ocasiones no se comparte entre las agencias para evitar la duplicidad de los trabajos y recursos. La deficiencia en la divulgación del tema de cambio climático y la educación ambiental se resume en la Ilustración 54.

**Ilustración 54.**

*Deficiencias identificadas*




Un estudio realizado en el 2020 por Cruz & Páramo sobre la educación para la mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina analizó el estado actual de la investigación en educación sobre el cambio climático en la región, a partir de una revisión de las publicaciones incluidas en las bases de datos *Scielo*, *Ebsco Host*, *Dialnet* y *Redalyc*, desde 2009 a 2019. Los resultados indicaron que en Puerto Rico se ha realizado solo una publicación, lo cual representa un 2.8 % en divulgación científica. Con estos hallazgos, se concluye que la mayoría de los trabajos no evalúa la efectividad de las intervenciones sobre el cambio directo del comportamiento y que aún son predominantes los artículos de carácter descriptivo, aunque se reconoce que son la línea de base que abre las puertas a estudios de intervención o experimentales. Es necesario entonces aumentar y afinar el conocimiento básico y aplicado sobre la percepción social del cambio climático en América Latina, para poder diseñar, aplicar y legitimar acciones educativas en el marco de las políticas de respuesta.

Esta revisión sistemática muestra la necesidad de llevar a cabo estudios que generen impacto en la formación de las personas y evalúen las incidencias de estas experiencias educativas en la mitigación y adaptación al cambio climático. Es fundamental que se establezcan acciones a corto y largo plazo que permitan atender estas deficiencias para que la información alcance a los diversos sectores de Puerto Rico.

## 4.13. Justicia climática

En noviembre del 2022, se llevó a cabo la COP27, 27ª cumbre del clima de la ONU en Sharm el Sheij, Egipto, con la participación de más de 190 países para trabajar en favor del medioambiente y contrarrestar el cambio climático y sus efectos. Se llegó a un acuerdo que establece un mecanismo de financiación para compensar a las naciones más vulnerables por las pérdidas y los daños causados por los desastres climáticos. En un mensaje de vídeo emitido desde la sede de la conferencia en Egipto, el secretario general de la ONU, António Guterres afirmó: "Esta conferencia ha dado un paso importante hacia la justicia. Acojo con satisfacción la decisión de establecer un fondo para las pérdidas y los daños, y de ponerlo en marcha en el próximo período". Subrayó que las voces de quienes están en primera línea de sentir los efectos de las manifestaciones climáticas deben escucharse.

Puerto Rico es un territorio no incorporado (Estado Libre Asociado con estatus de autogobierno) de los Estados Unidos, uno de los países con mayor responsabilidad del cambio climático. Sin embargo, pese a su estado geopolítico a nivel internacional, Puerto Rico genera unas características distintas a nivel social, económico y político si se compara con los 50 estados de EE. UU.

Un ejemplo de lo planteado es el Índice de Riesgo Climático Global (IRC) de Germanwatch[647] del 2021 que considera a Puerto Rico entre los más afectados por eventos climáticos extremos entre el período del 2000 al 2019. Se atribuye a las secuelas del acontecimiento excepcional devastador que fue el huracán María en 2017. Este estudio se basa en datos disponibles sobre los impactos de los eventos climáticos extremos y los datos socioeconómicos asociados. Indica el nivel de exposición y la vulnerabilidad de los países a estos fenómenos. Es importante destacar que en este estudio no se incluye el efecto del aumento del nivel del mar, el derretimiento de los glaciares o los mares más ácidos y cálidos, así como tampoco se registran impactos indirectos de las sequías o la escasez de alimentos provocadas por olas de calor. En términos humanos, cuantifica las víctimas mortales, pero no recoge el número total de personas afectadas[648].

Todavía en 2023, las poblaciones empobrecidas vivían de cerca la devastación social y económica que dejó el huracán María. De 3.4 millones de personas en Puerto Rico en el 2017, los estimados de población para el 2021 cerraron en 3.263 millones, según el censo de EE. UU. Es importante destacar que, a partir de la descripción del perfil demográfico, gran parte de la población que se queda en la isla para este período luce ser más vulnerable. Del 18 % de la población con 65 años o más en el 2017, el promedio ascendió a 21.3 % en 2021. Con datos del Instituto de Desarrollo de la Juventud, en el *IV Informe hacia la Recuperación Justa* de la organización Ayuda Legal Puerto Rico se

647 *Germanwatch* es una organización no gubernamental independiente con base en Bonn (Alemania). Bajo el lema «Observar, Analizar, Actuar», promueve activamente la equidad global y la preservación de los medios de vida concentrándose en la política y economía de los países del Norte y sus repercusiones en todo el mundo. Su labor se centra en la mitigación del y adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria global, la responsabilidad corporativa, la educación para el desarrollo sostenible y la financiación de la lucha contra el cambio climático y de desarrollo/alimentación. Véase más en: https://www.germanwatch.org/es.

648 Germanwatch. Global Climate Risk Index 2021. https://www.germanwatch.org/es/19777

indica que a la vez que la población de menores disminuyó considerablemente en Puerto Rico los últimos años, la inseguridad económica de los mayores de 65 años y sus núcleos familiares se mantuvo igual[649].

Luego del huracán María se destinaron fondos para atender el desastre. Muchas organizaciones sin fines de lucro, de base comunitaria, religiosa y la academia, entre otras, generaron diversas iniciativas para conocer los derechos y exigir justicia climática a los entes gubernamentales, empresas privadas y otros sectores como parte de los procesos de adjudicación de fondos. Algunas son Amnistía Internacional[650], Para la Naturaleza, la Universidad del Sagrado Corazón[651]; comunidades de fe como la Iglesia Episcopal, Diócesis de Puerto Rico[652]; AMANESER 2025, Puerto Rico (*The Alliance for Sustainable Resources Management*)[653] y Casa Pueblo[654]

Muchas de estas organizaciones entienden que la recuperación no ha sido justa para las comunidades vulnerables. En su *IV Informe*, publicado en septiembre del 2022, Ayuda Legal Puerto Rico señala como una amenaza principal a las familias sobrevivientes "el desplazamiento por diseño". Plantea que el impacto en estas familias "es de múltiples niveles: la imposibilidad de obtener un techo seguro, el enfrentamiento con un mercado de vivienda predatorio y no regulado y las relocalizaciones carentes de participación o planificación efectiva". Según la entidad, sin acción inmediata, la falta de vivienda segura y asequible aumenta el riesgo de la población a la hora de enfrentar futuros desastres o el cambio climático con un nivel mayor de desigualdad.

Otro escenario paralelo es a nivel municipal; 16 municipios han presentado la primera demanda colectiva en su tipo contra compañías del sector del petróleo y el carbón. Reclaman una compensación financiera, acusándolas de contribuir al cambio climático al impulsar una multimillonaria y fraudulenta campaña publicitaria que minimizó los impactos catastróficos de los combustibles fósiles. La demanda culpa a las grandes compañías petroleras por los miles de millones de dólares en daños que sufrió la isla tras la devastadora temporada de huracanes en 2017, por la que miles de personas murieron y se destruyó infraestructura de vital importancia en Puerto Rico[655].

---

649 Ayuda Legal Puerto Rico. Cuarto informe *Hacia una recuperación justa*. *La lucha contra el desplazamiento por diseño.* Septiembre 2022. Pág 05. Véase: https://www. ayudalegalpuertorico.org/publicaciones/.

650 Amnistía Internacional Puerto Rico – Iniciativa Justicia Climática. Véase: https://www.amnistiapr.org/justicia-climatica/.

651 Véase https://insagrado.sagrado.edu/manifiesto-por-la-justicia-climatica/.

652 El 25 de febrero de 2023, un grupo ecuménico que incluyó al liderato de la Iglesia Episcopal, Diócesis de Puerto Rico y la Iglesia Evangélica Luterana, Sínodo del Caribe, celebró el evento Fe y Justicia Climática en Puerto Rico. El encuentro consistió en conferencias y mesas de diálogo en las que también participaron miembros de las iglesias Discípulos de Cristo, Metodista y Católica, entre otras, para intercambiar ideas, conocimientos y propuestas que adelanten la justicia climática desde las comunidades de fe en Puerto Rico. Véase: https://www.youtube.com/watch?v=TadoT8bSAog. Véase además: https://www.youtube.com/@sinododelcaribe4761.

653 Véase https://www.globalministries.org/partner/lac_partners_amaneser_2025/

654 Casa Pueblo. Adjuntas Pueblo Solar. Véase: https://casapueblo.org/adjuntas-pueblo-solar/.

655 Democracy Now! (En línea) Dieciséis municipios de Puerto Rico presentan una demanda climática contra las grandes empresas petroleras | Democracy Now! Cision Distribution. Milberg representa a los municipios de Puerto Rico contra las grandes empresas del sector del petróleo y el carbón

Como se ha mencionado, existen iniciativas importantes que presentan enfoques de la justicia climática en la isla. Sin embargo, actualmente, son muy pocas las publicaciones arbitradas e informes técnicos enfocados en el estudio de la justicia climática en Puerto Rico. Entre ellas, se destaca una investigación[656] que mostró una realidad de nuestra niñez, en particular, la de bajos recursos. El informe de la investigación invita a la acción climática de todas las partes para proteger el bienestar de esas generaciones más jóvenes, sustentado en datos que resumimos a continuación:

- Los investigadores califican como una injusticia que los niños, especialmente los que viven en comunidades de menor riqueza, ya soportan la mayor parte de los daños causados por los huracanes, las sequías, los incendios forestales y las olas de calor que las emisiones de GEI agudizan, sin que puedan ejercer control sobre las fuentes de emisiones.
- Afirman que la niñez necesita acceso a agua potable, aire limpio y alimentos nutritivos para mantenerse saludable. Señalan que luego de los huracanes María (2017) y Fiona (2022) muchos perdieron esos accesos a la energía y al agua potable.
- En el caso del huracán María, pasaron meses para que el suministro de energía se restableciera por completo.
- Los investigadores indican que, después de Fiona, aproximadamente 4 de cada 5 hogares perdieron el acceso a la energía y al agua potable segura.
- La inseguridad alimentaria que ya afecta a cerca del 40 % de la niñez puertorriqueña se extendió.
- Los autores advierten que la pérdida de energía puede ser nefasta para los niños que dependen de la electricidad para equipos médicos vitales, como ventiladores, o que toman medicamentos, como insulina, que necesitan refrigeración.
- En el informe mencionan que la falta de servicio eléctrico tras el huracán Fiona "trajo de vuelta los temidos sonidos de los generadores de energía".
- Además, reconocen que, aunque los generadores pueden proporcionar una línea vital de electricidad, queman diésel y otros combustibles que generan contaminantes del aire perjudiciales para los embarazos, pues dañan el cerebro y los pulmones en desarrollo y aumentan el riesgo de propagación de enfermedades infecciosas en el aire.
- Añaden que, después de María, muchas familias se convirtieron en migrantes climáticos. Indican: "La migración separó a los niños de sus familias extendidas y transgredió una base de la cultura puertorriqueña. También, preparó el escenario para eventos adversos en la infancia, que pueden aumentar los riesgos de cargas de enfermedades importantes en la edad adulta".

---

por más de $100,000 millones en pérdidas a causa del cambio climático. (*On-line*) https://www.prnewswire.com/news-releases/milberg-representa-a-los-municipios-de-puerto-rico-contra-las-grandes-empresas-del-sector-del-petroleo-y-el-carbon-por-mas-de-100-000-millones-en-perdidas-a-causa-del-cambio-climatico-829321292.html.

656 Gredia H. and Aaron B., 2023. "Children, Climate Justice, and Lessons from Puerto Rico." *JAMA Pediatric*. Volume 177, Number 1.

- Los autores del estudio afirman que el cambio climático hace que los huracanes sean más intensos, como fue María, y hace más frecuentes otros eventos como los incendios forestales, las olas de calor, inundaciones y sequías. Subrayan que estos choques climáticos pueden crear y aumentar las disparidades de salud que ya aquejan a la niñez. Particularmente, a la que vive en comunidades de bajos ingresos que puede tener menos recursos para recuperarse de los desastres.
- Añaden que "es más probable que sus comunidades hayan recibido menos inversión en infraestructura de protección" e identifican específicamente a las zonas rurales del oeste y sur y las islas municipios de Vieques y Culebra.
- Además, los investigadores citan datos de la EPA que señalan que en Puerto Rico hay 250 sitios bajo el programa *Superfund* activos. De estos, 19 están en la "lista de prioridades nacionales" de la agencia, que incluye sitios con mayor probabilidad de liberar compuestos tóxicos. Esto significa que cuando los huracanes impactan a Puerto Rico es más probable que liberen compuestos tóxicos hacia las comunidades vecinas.
- En el informe se consigna que Puerto Rico depende en gran medida de los combustibles fósiles. Los datos de la investigación muestran que el 96 % de la energía utilizada para los vehículos y la red eléctrica proviene de la quema de carbón, petróleo y gas. Los autores añaden que esta energía es costosa (indican que la electricidad de Puerto Rico cuesta más del triple del promedio nacional de los EE. UU.) y es peligrosa, pues empeora enfermedades como el asma, de alta incidencia en la isla.

En el estudio se destaca que hay leyes estatales y federales como la Ley 17-2019, la Ley de Reducción de la Inflación del Congreso de los EE. UU. y la Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos que pueden propiciar que se mejore la resiliencia de las comunidades en riesgo. La Ley de Reducción de la Inflación dispone que se realicen inversiones en transporte, generación de electricidad y otra infraestructura que permita que el 40 % de la energía provenga de fuentes renovables con almacenamiento para 2030. Afirma que, a la asignación de recursos debe seguir la "aplicación diligente". Los autores del estudio argumentan que, en Puerto Rico, los residentes "han soportado episodios en serie de mala gestión del gobierno" y sostienen: "Aprovechar los fondos federales requiere competencia del gobierno estatal y local".

De lo expuesto, se evidencia la validez y pertinencia del tema de justicia climática para Puerto Rico. Hay muchas iniciativas por parte de entidades no gubernamentales liderando este enfoque. Por lo tanto, se debe insertar con urgencia este importante principio en el marco legal y político a nivel nacional para promover un desarrollo que respete siempre los derechos humanos. Este plan propone un enfoque de política pública que sitúe a las personas como centro, protegiendo sobre todo a quienes son más vulnerables a los efectos del cambio climático (como la población bajo el nivel de pobreza, nuestra niñez y la población adulta mayor, entre otros grupos desatendidos, desfavorecidos y desventajados).

## 4.14. Escenarios sobre las proyecciones de aumento del nivel del mar sobre Puerto Rico (2030, 2050, 2100) y marejada ciclónica

Una de las manifestaciones del cambio climático es el aumento del nivel del mar. El aumento del nivel del mar ocurre mayormente por el efecto de la expansión térmica producida por el aumento de temperatura de los océanos y el derretimiento de las capas de hielo a nivel mundial.

Es muy claro que el aumento del nivel del mar no es solo un evento del futuro sino también del presente. Así lo demuestran los datos de los mareógrafos a nivel mundial que presentan un ascenso sin precedente y donde los sistemas de islas y los territorios de baja elevación son las áreas geográficas más expuestas a dicho aumento. Entre los impactos que tiene el aumento del nivel del mar sobre el territorio están las inundaciones costeras que, a su vez, amplifican los efectos de las marejadas ciclónicas, la erosión costera y la pérdida de humedales, incluso en ausencia de cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas657. El aumento del nivel del mar incrementa también la intrusión de agua salina a los acuíferos y a los segmentos de los ríos cercanos a la costa. El resultado del aumento de esta intrusión salina es la merma de agua subterránea y el abandono de plantas potabilizadoras que ubican cerca de la costa.

Varios informes presentan la situación actual, así como las proyecciones del aumento del nivel del mar a escala global, regional y local. Se destaca, entre otros, el informe más reciente del IPCC que prevé con un nivel alto de confianza que los eventos extremos del nivel del mar que solían ocurrir en períodos de 1 en 100 años ocurran al menos anualmente en más de la mitad de todas las ubicaciones de mareógrafos para el 2100 en todos los escenarios considerados[658] [659]. Estos informes se basan en la mejor ciencia, modelos y análisis disponibles con el propósito de que la información se utilice para ejecutar la mejor preparación de los territorios para enfrentar la amenaza. De los informes disponibles a nivel regional y local, el CEACC de Puerto Rico acogió el informe *Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines* como la línea base para evaluar la exposición de la población, la infraestructura, los recursos costeros y servicios en Puerto Rico. El informe es un esfuerzo de las agencias federales, publicado en el 2022.

Específicamente, el CEACC se alinea a las proyecciones de aumento del nivel del mar a escala regional de los Estados Unidos, así como a la proyección de escala local del Caribe que se incluye en el informe. Las proyecciones presentadas en el informe

657 Sweet, W.V., B.D. Hamlington, R.E. Kopp, C.P. Weaver, P.L. Barnard, D. Bekaert, W. Brooks, M. Craghan, G. Dusek, T. Frederikse, G. Garner, A.S. Genz, J.P. Krasting, E. Larour, D. Marcy, J.J. Marra, J. Obeysekera, M. Osler, M. Pendleton, D. Roman, L. Schmied, W. Veatch, K.D. White, and C. Zuzak, 2022: Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Up-dated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines. NOAA Technical Report NOS 01. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Silver Spring, MD, 111 pp., https://oceanservice.noaa.gov/hazards/sealevelrise/sealevelrise-tech-report-sections. html.

658 IPCC. 2023.

659 Véase también US Army Corps of Engineers, Sea-Level Tracker: https://climate.sec.usace.army.mil/slr_app/.

citado se basan en la integración de datos de modelaje a partir de la combinación de escenarios de emisiones, aumento de temperatura y datos de los mareógrafos locales.

El informe presenta cinco escenarios de proyecciones a escala regional para los años 2030, 2050, 2100 y 2150. Estas son: baja, intermedia-baja; intermedia; intermedia-alta y alta. Además, el informe incluye una proyección a escala a corto y largo plazo donde la incertidumbre es reducida en la proyección a corto plazo (Tabla 31) .

**Tabla 31.**

*Proyecciones sobre el aumento del nivel del mar a escala regional*

| Proyección de aumento del nivel del mar | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Año** | **Escenario bajo** | **Escenario intermedio bajo** | **Escenario intermedio** | **Escenario intermedio alto** | **Escenario alto** |
| 2030 | 0.59 pies (0.18 metros) | 0.66 pies (0.20 metros) | 0.69 pies (0.21 metros) | 0.72 pies (0.22 metros) | 0.72 pies (0.22 metros) |
| 2050 | 1.02 pies (0.31 metros) | 1.18 pies (0.36 metros) | 1.31 pies (0.40 metros) | 1.51 pies (0.46 metros) | 1.71 pies (0.52 metros) |
| 2100 | 1.97 pies (0.6 metros) | 2.30 pies (0.70 metros) | 3.94 pies (1.20 metros) | 5.58 pies (1.70 metros) | 7.22 pies (2.20 metros) |
| 2150 | 2.62 pies (0.8 metros) | 3.94 pies (1.20 metros) | 7.22 pies (2.20 metros) | 9.19 pies (2.80 metros) | 12.8 pies (3.90 metros) |

Para el Caribe, el informe presenta los siguientes escenarios para el 2050:

- 0.62 pies (0.19 metros) para el escenario bajo
- 0.79 pies (0.24 metros) para el escenario intermedio-bajo
- 0.92 pies (0.28 metros) para el escenario intermedio
- 1.15 pies (0.35 metros) para el escenario intermedio-alto, y
- 1.38 pies (0.42 metros) para el escenario alto

Estos escenarios a corto y largo plazo son importantes para definir la exposición de sectores como vivienda, infraestructura portuaria, vial, hídrica y eléctrica, ecosistemas costeros y terrestres, y la seguridad alimentaria, entre otros de gran importancia para proteger vidas, propiedades y la economía de Puerto Rico.

Uno de los efectos importantes del aumento del nivel del mar es que el alcance de inundaciones costeras podría ser mayor cada vez con la ocurrencia de nuevos eventos. Los informes consideran que entre otros factores físicos que contribuyen directamente al

riesgo de inundaciones costeras están la precipitación local, las corrientes de los ríos, el hundimiento de terreno, las condiciones del oleaje, las aguas subterráneas y las mareas.

Esto se complica cuando se sobreponen otros efectos multirriesgo como la ocurrencia de la marejada ciclónica. La marejada ciclónica impacta la infraestructura y las viviendas ubicadas cerca de la costa. El CEACC determinó utilizar la información sobre la marejada ciclónica generada por el huracán María en el 2017, contenida en el informe *National Hurricane Center Tropical Cyclone Report: Hurricane María* publicado por el *National Hurricane Center* el 4 de enero de 2023. El informe incluye toda la costa de Puerto Rico. Según este informe, la marejada ciclónica alcanzó 9.5 pies donde el huracán entró a Puerto Rico. La marejada ciclónica llegó hasta 7 pies en el resto de la costa este de la isla. En la costa norte, fluctuó entre 2 y 4 pies. La marejada ciclónica en la costa sur fluctuó entre 3 y 5 pies. En la costa oeste y en la costa del suroeste, la marejada ciclónica fluctuó entre 2 y 3 pies.

En los casos en que las proyecciones del nivel del mar y la marejada ciclónica incidan sobre los COA incluidos en los capítulos 6 y 7, la entidad identificada como responsable de tales acciones deberá evaluar su implantación a la luz de los informes acogidos por el CEACC mencionados en este capítulo. Cuando, durante la vigencia de este plan, surjan nuevos informes que el CEACC determine que se deben utilizar para la implantación de dichos COA, lo notificará en su página oficial y a través de comunicación interna a todas las entidades responsables de implantar las acciones.

Se recomienda que para la aplicación del informe *Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States* se tenga en cuenta la guía titulada *APPLICATION GUIDE for the 2022 Sea Level Rise Technical Report*[660], debido a que contiene recomendaciones sobre cómo aplicar dicho informe a la planificación.

[660] Accese el enlace donde se encuentra la guía para su descarga: Sea Level Rise Technical Report: Download and FAQs (noaa.gov). Véanse además: https://oceanservice.noaa.gov/hazards/ sealevel-rise/sealevelrise-data.html e Interagency Sea Level Rise Scenario Tool – NASA Sea Level Change Portal.

# CAPÍTULO 5.

# Análisis de diagnósticos de los sectores: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)

En este capítulo se presenta un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) de los diagnósticos presentados para los sectores incluidos en el capítulo 4 del Plan. El análisis FODA es importante desde la perspectiva de planificación ya que apoya la identificación de los factores claves de éxito en cada sector estudiado o el factor crítico para alcanzar el éxito en los temas de mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático. Además, es la base para formular estrategias, programas y proyectos definidos en los cursos de acción presentados en este instrumento de planificación.

Descripción y objetivo de la matriz FODA[661]:

1. Fortalezas: los atributos o destrezas que el sector tiene para alcanzar el objetivo.

2. Debilidades: lo que es perjudicial o factores desfavorables para la ejecución del objetivo.

3. Oportunidades: las condiciones externas, lo que está a la vista por todos o la popularidad y competitividad que sea útil para alcanzar el objetivo.

4. Amenazas: lo perjudicial, lo que amenaza la estabilidad del sector por factores externos, los cuales pudieran convertirse en oportunidades para alcanzar el objetivo.

El análisis FODA usa como base el diagnóstico de la situación para los sectores que proviene del análisis de los mejores y más recientes datos e información disponibles. Para esto, el proceso de elaborar el P-MARCC requirió la ejecución de distintas estrategias metodológicas descritas en la sección 2.3 –Proceso del desarrollo del plan– y en la sección 2.3.1 –Metodología del Plan.

A continuación, el análisis FODA para: 1) fuentes antropogénicas de GEI; 2) energía; 3) infraestructura; 4) transporte y movilidad; 5) residuos sólidos; 6) salud y bienestar; 7) agricultura y ganadería; 8) agua; 9) sistemas marinos y zonas costeras; 10) ecología terrestre; 11) turismo; 12) educación; 13) justicia climática y 14) forestación.

[661] Riquelme Leiva, M. (2016). FODA: Matriz o Análisis FODA - Una herramienta esencial para el estudio de la empresa. Recuperado de https://www.analisisfoda.com/.

**Tabla 32.**

*Matriz o análisis FODA de* ***fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI)***

| | |
|---|---|
| **ORIGEN INTERNO** | **Fortalezas** |
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 requiere en su artículo 4 regular las emisiones de gases y compuestos de efecto de invernadero para lograr una reducción de sus concentraciones a un nivel que impida las intervenciones humanas peligrosas en el sistema climático y fijar los instrumentos de seguimiento de las emisiones de GEI para los diversos sectores, productos y servicios. Por lo tanto, se promueve el desarrollo de un reglamento para el control de emisiones de GEI como mecanismo para lograr la meta de reducirlas al 50 %. La misma ley exige al DRNA realizar un inventario anual de GEI. Se requiere que para el 2028 la flota pública de vehículos del Gobierno de Puerto Rico sea híbrida o a base de métodos alternativos a los combustibles fósiles. También, la Ley 33-2019 requiere que para el 2050 toda la energía eléctrica sea a base de fuentes renovables o alternativas.<br>• La Ley del Plan de Rescate Estadounidense (ARPA, por sus siglas en inglés) del 2021 provee fondos de transición hacia la energía renovable.<br>• La Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico (Ley 17-2019) promueve reducir los GEI en sus artículos 1.5 y 1.6.<br><br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Existe el Negociado de Energía de Puerto Rico creado por la Ley de Transformación y Alivio Energético de Puerto Rico (Ley 57-2014, según enmendada) como un ente regulador independiente encargado de reglamentar, supervisar, fiscalizar y asegurar el cumplimiento con la política pública energética del Gobierno de Puerto Rico.<br>• Existe el CEACC, que tiene entre sus deberes y facultades atender asuntos relacionados con los GEI.<br>• Existe el Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico (PRCCC) que reúne a científicos, académicos y representantes del gobierno, el sector privado y el tercer sector para analizar e intercambiar información científica local e internacional sobre las manifestaciones del cambio climático en la isla y las proyecciones a futuro.<br>• Se cuenta con un nuevo inventario de GEI del 2019-2021. |
| **ORIGEN** | **Debilidades** |
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Un reglamento para el control de emisiones de GEI en Puerto Rico.<br>• Implantar un programa masivo de reforestación.<br>• Incorporar el mercado de bonos de carbono.<br>• Se debe enmendar la Ley 33-2019 para requerir la neutralidad en emisiones de carbono (net zero $CO_2$ emissions). |

**INTERNO**

**¿Qué área necesita mejoras?**

- Continuidad en la realización de los inventarios de GEI, tal y como la Ley 33-2019 lo exige al DRNA.
- Agilizar la transformación del sistema de generación de energía eléctrica a un sistema que funcione a base de fuentes renovables o alternativas.
- Modernizar el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica para que permita integrar los sistemas de generación a base de fuentes renovables o alternativas con fondos de FEMA y otros aplicables para ese fin.
- Cumplimiento con la veda gubernamental de comprar vehículos de motor de combustión interna para la flota pública.
- Avanzar en la construcción de las estaciones de carga de vehículos eléctricos.
- Utilizar rápida y efectivamente los incentivos federales para allegar sistemas de energía renovable a comunidades vulnerables.

**ORIGEN EXTERNO**

**Oportunidades**

**¿Se identifican tendencias de beneficio?**

- La reconstrucción de viviendas y edificios afectados por el huracán María puede propiciar la aclimatación de estas estructuras para ayudar a reducir la demanda de energía eléctrica.
- Los fondos para reconstruir el sistema de transmisión y distribución eléctrica permitirán poner a la red en condiciones para integrar los sistemas de generación a base de energía renovable y de fuentes alternas.
- Las aguas profundas cerca de Yabucoa podrían permitir la construcción de un sistema de generación de energía oceanotérmica para la red eléctrica.
- La climatización de los techos y las paredes urbanas para disminuir el efecto de isla del calor contribuye a disminuir la demanda energética y, por tanto, las emisiones de GEI.

**ORIGEN**

**Amenazas**

**¿Qué obstáculos se identificaron?**

- La falta de continuidad anual del inventario de GEI por disponibilidad de fondos.

**¿Cuáles son las condiciones económicas?**

- Se evidencia la carencia de un fondo para monitorear los GEI de manera permanente.

**¿Cómo afectan las regulaciones en el gobierno?**

- Burocracia en los procesos.

| ORIGEN EXTERNO | ¿Qué áreas permanecen vulnerables? |
|---|---|
| | • La EPA identificó en el 2017 a las centrales generatrices San Juan, Palo Seco y Aguirre, de la AEE, como las fuentes principales de emisiones de $CO_2$[662]. |
| | • El inventario de GEI más reciente (2021) indica que los contribuyentes principales a las emisiones netas de Puerto Rico incluyen al sector de suministro eléctrico (52 % del total de emisiones al 2021), asociado principalmente a la quema de combustibles para producir electricidad. |
| | • Puerto Rico ocupa el puesto 19 entre los 38 países de América Latina y el Caribe con las mayores emisiones de $CO_2$, según datos de la Comisión Europea citados por el PRCCC en su informe del 2022. |

**Tabla 33.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector energía***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?** |
| | • Existe la Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico (Ley 17-2019). |
| | • Existe la Ley 33-2019 (Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático). |
| | • La Ley del Plan de Rescate Estadounidense (ARPA) otorga fondos para desarrollar energía renovable. Esta ley asignó $2,470 millones a Puerto Rico. Quedan fondos disponibles, siempre y cuando se obliguen antes del 31 de diciembre del 2024 y se deben utilizar antes del 31 de diciembre del 2026. |
| | • La Ley de Reducción de la Inflación (IRA) incluye fondos para reducir las emisiones de $CO_2$. |
| | • FEMA tiene fondos disponibles para integrar el sistema de distribución y transmisión. |
| | • El PIR de la AEE traza la ruta de transición hacia la energía renovable. |
| | • Están vigentes órdenes ejecutivas del presidente de EE. UU. dirigidas a atender el tema energético frente al cambio climático, estas son:<br>○ Orden Ejecutiva 13990 del 20 de enero de 2021: Protección de la salud pública y el medioambiente y restauración de la ciencia para abordar la crisis climática. |

[662] Alvarado León, G.E. (domingo 23 de enero de 2022). “Sanciones a la vista por la mala calidad del aire en Puerto Rico”. *El Nuevo Día.* https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/notas/sanciones-a-la- vista-por-la-mala-calidad-del-aire-en-puerto-rico/?r=27344.

ORIGEN INTERNO

- Orden Ejecutiva 14008 del 27 de enero de 2021: Abordar la crisis climática en el país y en el extranjero.
- Orden Ejecutiva 14057 del 8 de diciembre de 2021: Catalizando industrias y empleos de energía limpia a través de la sostenibilidad federal.

### ¿Qué se está haciendo bien?

- Existe el PIR de la AEE. Aunque la AEE es la responsable por cumplir con lo establecido en el PIR, tanto Genera PR como LUMA, ambos en carácter de contratistas de AEE, se ven en la obligación de seguir el mandato de ley.
- Hay incentivos y fondos federales disponibles para la compra de equipos que propicien el autoconsumo energético a base de energías renovables. La segunda versión de la guía sobre el IRA incluye un resumen de estos diferentes programas y fondos. El DDEC, por medio del Programa de Política Pública Energética, administra el Programa Estatal de Energía (*State Energy Program*, conocido por las siglas SEP), el Programa de Asistencia de Climatización (*Weatherization Assistance Program*, conocido por las siglas WAP) y Apoyo Energético.

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué falta por integrar?

- Unificar los procesos relacionados con los fondos disponibles y las empresas de equipos de energía renovable.
- En este sentido, falta por integrar un esfuerzo dirigido a las comunidades en desventaja socioeconómica que las ayude a determinar qué equipos de energía renovable necesitan para la demanda básica y ayudarles en la solicitud de los fondos y su aplicabilidad.

### ¿Qué área necesita mejoras?

- Los retrasos en la adjudicación de contratos para proyectos de generación y almacenamiento de energía renovable.
- Retrasos en la construcción de estaciones de recarga para vehículos eléctricos.
- Retrasos en la negociación de contratos de compra de energía renovable a empresas privadas.
- Solo el 4.25 % de la energía en el sistema de la AEE proviene de fuentes renovables. No se están considerando 98 MW de plantas hidroeléctricas que están fuera de servicio debido a sus altos costos de reparación. Estas son fuentes de energía renovable.
- Falta de asistencia económica para las familias de clase media en la instalación de equipos de energía renovable.

ORIGEN EXTERNO

## Oportunidades

### ¿Se identifican tendencias de beneficio?

- Algunos clientes industriales de la AEE/ LUMA cuentan con equipos de generación de ciclo combinado de calor y electricidad (CHP, por sus siglas en inglés), que permiten reducir las emisiones de $CO_2$. Existe el potencial de utilizar hidrógeno "verde" como combustible para estos equipos.
- Algunos clientes industriales de la AEE/ LUMA complementan los sistemas de CHP con sistemas de paneles fotovoltaicos con almacenamiento de energía.
- Hay mayor interés por los equipos de bajo consumo eléctrico y sistemas de paneles fotovoltaicos con almacenamiento de energía para residencias y comercios.
- Operación de sistemas eólicos en industrias, por ejemplo, la finca de turbinas en el sur de *Pattern Energy.*
- Potencial de establecer un sistema de generación oceanotérmica en Yabucoa, propuesto por el DDEC.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- Los altos costos de instalación de los sistemas de paneles fotovoltaicos a nivel residencial y comercial.
- El aumento en los costos de estas placas solares.
- Los problemas con la cadena de distribución provocan retrasos significativos en la construcción de nuevos parques de generación de energía renovable.
- La dificultad para contratar personal especializado para instalar equipos de generación de energía renovable.
- La falta de capacitación continua de personal especializado para instalar dichos equipos de energía renovable.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Los altos niveles de inflación y el encarecimiento de los combustibles fósiles y equipos ecoamigables obstaculizan que la ciudadanía pueda tener un ahorro en el cambio a sistemas renovables.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Burocracia en los procesos.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | **¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• El sistema de generación de energía de la AEE presenta retos geográficos y climáticos dado que las unidades principales de generación de mayor capacidad (70 %) se encuentran en el sur de la isla y la mayor demanda de energía se encuentra al norte. Esto hace vulnerable al sistema.<br>• Los huracanes y tormentas podrían destruir o afectar los sistemas de energía renovable.<br>• La sequía puede afectar la operación de las plantas hidroeléctricas. |

**Tabla 34.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector infraestructuras***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Orden Ejecutiva 2007-41 fomenta la construcción de edificios verdes en Puerto Rico y requiere utilizar el sistema *LEED* en los proyectos de edificación con área mayor de 35,000 pies cuadrados.<br>• Existe desde el 2011 un prototipo de Casa Ecológica prediseñada.<br>• Están disponibles productos verdes, incluyendo ventanas ecológicas como *BrightShade*, patentada en el 2014, que se considera para instalar en todas las escuelas públicas de Puerto Rico.<br>• Se ha implantado la iniciativa “posterriqueño”, con el propósito de mejorar el sistema de iluminación pública de la isla. La luminaria se basa en la tecnología LED. Fue diseñada por ingenieros y estudiantes de la UPR-Mayagüez y propulsada por el Dr. Arturo Massol de Casa Pueblo.<br>• La Compañía de Turismo de Puerto Rico tiene unas guías de diseño para instalaciones ecoturísticas y de turismo sostenible (2004) que se utilizan de forma voluntaria por diseñadores y empresarios que desean crear instalaciones sostenibles y resilientes que reduzcan los consumos de energía.<br>• El Aeropuerto Internacional Rafael Hernández no es vulnerable al aumento del nivel del mar.<br>• La mayoría de las plantas potabilizadoras de la AAA no son vulnerables al aumento del nivel del mar. |

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Qué se está haciendo bien?**<br>• El desarrollo de proyectos pioneros en sostenibilidad comunitaria que propulsan el uso de fuentes renovables a nivel comunitario. Entre estos destacan el Bosque Modelo y Casa Pueblo en Adjuntas.<br>• El diseño de la Casa Ecológica.<br>• Existe la escuela ecológica de Culebra que se puede replicar como modelo exitoso.<br>• El uso de pavimento permeable. |

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• El Tren Urbano es una estrategia de sostenibilidad que puede mitigar las emisiones de CO2, pero que requiere aumentar las modalidades y opciones de transporte desde cada estación dándole prioridad a la designación de ciclovías y a mejoras en la infraestructura peatonal junto al desarrollo de núcleos urbanos alrededor de cada estación del tren.<br>• Se cuenta con muchos proyectos y casos exitosos en toda la isla, que conviene seguir desarrollando y replicando a nivel de país.<br>**¿Qué área necesita mejoras?**<br>• Restructurar el proceso del programa Permiso Verde como parte del Reglamento Conjunto de Puerto Rico. La complejidad del proceso actual para obtener el permiso ha limitado sustancialmente su implantación y éxito.<br>• Pocos propietarios de edificios en Puerto Rico informan sobre sus emisiones de GEI bajo el programa de la EPA *Green House Gas* (GHG) *Reporting Program*. Hasta el primer semestre del 2023, había ocho informantes registrados.<br>• Se deben auscultar estrategias para promover mejor la certificación bajo el programa *Home* del Departamento de la Vivienda y Desarrollo Urbano federal. A mayo del 2023, solo se habían certificado cuatro unidades de vivienda en la isla bajo este programa. Se han hecho reformas recientes a los requisitos del sistema de certificación para acomodarse mejor a nuestro contexto caribeño. El programa no atiende ese enfoque. Los programas que promueven viviendas resilientes (*Energy Star, Home, LEED for Home*) son de participación voluntaria, no programas del Estado.<br>• El 70 % de la capacidad de tratamiento de aguas usadas de la AAA está ubicada en zonas vulnerables al aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica.<br>• El 79 % de la infraestructura hotelera para el turismo está ubicada en zonas vulnerables al aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica. |

| | Debilidades |
|---|---|
| INTERNO | • A nivel general, existen 250,000 estructuras de todo tipo vulnerables al aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica.<br>• La mayoría de los embalses de Puerto Rico están sedimentados.<br>• La mayoría de los arrecifes de coral de Puerto Rico están en estado crítico. Esta infraestructura azul disipa la energía de la marejada ciclónica.<br>• Según el Instituto de Dasonomía Tropical, el huracán María destruyó 144 millones de árboles Esta destrucción propicia una mayor sedimentación de los embalses e inundaciones urbanas.<br>• Todas las plantas generatrices de electricidad están ubicadas en áreas vulnerables al aumento del nivel del mar, a la marejada ciclónica y otras marejadas. |

| | Oportunidades |
|---|---|
| ORIGEN EXTERNO | **¿Se identifican tendencias de beneficio?**<br>• Al 13 de marzo de 2023 se han certificado 136 proyectos LEED. Doce de estos son escuelas que se remodelaron o construyeron durante la vigencia del Programa ARRA. Estas escuelas sirven como instrumento pedagógico sobre el cambio climático y permitirán que las nuevas generaciones de estudiantes, profesores y administradores aprendan y vean los edificios sostenibles y descarbonizados como la norma y no como la excepción.<br>• Desde la fundación del Capítulo del Caribe del USGBC se han acreditado 198 profesionales en el sistema LEED para cumplir con el proceso de certificación de edificios verdes que reduzcan su impacto al ambiente y sus emisiones de $CO_2$.<br>• Para el 2023, Puerto Rico tenía un total de 37 edificios (con un equivalente a casi dos millones de pies cuadrados de construcción) con programas *Energy Star, Water Sense y Air Plus* de la EPA. La EPA ha conferido el *Environmental Quality Award* a varios proyectos verdes construidos en Puerto Rico.<br>• Se cuenta con el *PR Energy Center* (PREC), operado por la Universidad Ana G. Méndez - Campus de Gurabo con la participación activa de docentes e investigadores de diferentes disciplinas y universidades.<br>• Existe un estudio sobre la potencial viabilidad de un programa de créditos de carbono titulado *Assessing Forest Carbon Offsetting Potential in Puerto Rico's Para la Naturaleza (PLN) Land Trust.*<br>• Hay un proyecto demostrativo de vivienda sostenible, resiliente y asequible en las comunidades aledañas al Caño Martín Peña. Se construyeron dos unidades a un costo aproximado de $95,000 cada una, demostrando que la resiliencia y la sostenibilidad pueden ser viables económicamente.<br>• Hay fondos ARRA para la aclimatación de viviendas de personas de escasos recursos.<br>• Hay fondos de EPA para la reubicación de plantas de tratamiento de aguas usadas.<br>• Hay fondos disponibles para la transformación del sistema de generación eléctrica existente a uno a base de energía renovable. |

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- Desde la aprobación de la Ley 229-2009 –Ley para promover la eficiencia en el uso de energía y recursos de agua en las edificaciones nuevas y existentes del Estado Libre Asociado de Puerto Rico– se han presentado numerosos proyectos enfocados en la sostenibilidad, el diseño y la construcción de edificios verdes para reducir los consumos energéticos y las emisiones de $CO_2$, pero el resultado neto es que la mayoría no se han aprobado. Por lo tanto, la ley carece de fuerza en su implantación.
- El aumento del nivel del mar.
- La frecuencia e intensidad de los eventos de lluvias fuertes. Esto provocará incrementos dramáticos en la turbiedad del agua, lo que interrumpirá las operaciones de las plantas potabilizadoras.
- Infiltración de agua salina a los acuíferos debido al aumento del nivel del mar. Esto provocará el cierre de pozos de la AAA y pozos agrícolas que proveen agua potable a industrias menores.
- El aumento de la mortandad de los arrecifes de coral causará mayores daños a la infraestructura ubicada cerca de la costa.
- Los eventos de temperatura extrema provocan una demanda de electricidad que excede la capacidad de generación de la AEE.
- Los eventos de temperatura extrema incrementan la demanda de agua de la AAA.
- La merma de lluvias a causa del cambio climático reducirá la capacidad asimilativade los ríos y las quebradas. Esto requerirá que la AAA y las industrias provean tratamiento avanzado a las aguas usadas.
- Las lluvias intensas provocarán desbordamientos en el alcantarillado sanitario, que a su vez causarán el cierre de playas por contaminación por patógenos.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Actualmente (2023) el Departamento de Energía de Estados Unidos confecciona el plan PR 100 con la participación de expertos locales y técnicos del National Renewable Energy Laboratories con el fin de estudiar diversos escenarios en la búsqueda de estrategias para llegar a la meta de un Puerto Rico con el 100 % de la energía renovable en o antes del 2050 y a la vez mitigar las emisiones de $CO_2$ por la quema de combustibles fósiles. Aunque esta iniciativa no incluye acciones de política pública, sus resultados podrían utilizarse con esos propósitos. Viabilizarlas requerirá voluntad política y económica.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Falta de voluntad política para impulsar programas y políticas públicas eficaces en la implantación de sistemas ecoamigables.
- Burocracia en los procesos. Por ejemplo, la complejidad del proceso actual para los permisos verdes de uso y construcción ha limitado sustancialmente la implantación y el éxito del programa.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | • Burocracia en los procesos. Por ejemplo, la complejidad del proceso actual para los permisos verdes de uso y construcción ha limitado sustancialmente la implantación y el éxito del programa.<br>**¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• Las plantas termoeléctricas cercanas a las costas.<br>• Las plantas de tratamiento de agua cercanas a cuerpos de agua.<br>• La infraestructura como edificios y viviendas cercanos al mar. Sus cimientos están expuestos a deterioro a causa del aumento del nivel del mar y el arrastre de la arena de las costas, lo que podría restar estabilidad a esas estructuras.<br>• Las carreteras ubicadas en zonas de baja elevación y cerca de la línea de agua.<br>• Por ejemplo, la carretera PR-165 en la costa entre el área metropolitana y Dorado tiene un tramo que se inunda cuando ocurren eventos atmosféricos.<br>• Las carreteras de las costas que son único acceso a comunidades son vulnerables a las marejadas ciclónicas y los ciclones tropicales. Su cierre deja a esos vecindarios incomunicados. Igual ocurre con las carreteras cercanas a ríos caudalosos y carreteras de montaña propensas a deslizamientos de tierra y a la caída de árboles y postes. |

**Tabla 35.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector transportes y movilidad***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 reconoce los sistemas de transportación colectiva como parte de las estrategias para lidiar con el cambio climático y está alineada con la política pública de la administración del presidente Biden que espera que para el 2030 este sector reduzca en un 50-52 % los niveles de emisiones del 2005.<br>• Veda de compra de vehículos de combustión interna para el gobierno, que requiere que los vehículos que se adquieran para la flota pública utilicen métodos alternos a los combustibles fósiles para el 2028.<br>• Los manufactureros de vehículos de motor de Europa y Estados Unidos dejarán de fabricar vehículos de combustión interna para el 2025.<br>• Hay fondos ARPA para la construcción de sistemas de recarga de vehículos eléctricos.<br>• Hay fondos de IRA para subsidiar la compra de vehículos eléctricos. |

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Qué se está haciendo bien?**<br>• El Departamento de Transporte federal realiza esfuerzos para prevenir o reducir el riesgo de que las manifestaciones del cambio climático afecten o paralicen las operaciones de los sistemas de transportación.<br>• El gobierno federal tiene el programa Desafío de Transportación Colectiva Sostenible para un Planeta Saludable, desde junio de 2021. Los municipios de Yabucoa, Vega Baja y la Autoridad de Transporte Integrado (ATI) participan en el programa.<br>• En febrero de 2023, la AMA anunció la compra de 12 autobuses de 40 pies de largo como parte del programa de reemplazo de flota, utilizando los fondos disponibles de la Ley de Infraestructura de 2021. Estos nuevos autobuses son más eficientes y producen menos emisiones.<br>• La Ley 81-2014 establece un crédito de hasta $2,000 en los arbitrios para vehículos híbridos convencionales.<br>• El Tren Urbano cuenta con conexiones de interés masivo como, por ejemplo: la UPR, el Centro Médico, el recinto de la Universidad Ana G. Méndez en Cupey y otras universidades. |

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Oportunidades de innovación y reingeniería para diseñar y construir una mejor infraestructura y un sistema de transportación resiliente y redundante que mitiguen o eliminen los efectos adversos del cambio climático.<br>• Sincronizar la política pública de la Ley 33-2019 con las políticas federales, para atender y promover la transportación como un sistema nacional multimodal: aéreo, marítimo y terrestre.<br>• La atención a las carreteras y los puentes vulnerables a las lluvias intensas, tormentas tropicales y los huracanes.<br>• Sistemas de transportación complementarios a las estaciones del Tren Urbano.<br>**¿Qué área necesita mejoras?**<br>• Enmendar la Ley 33-2019 para encomendar acciones que tomen en cuenta los otros modos de transportación que no están cobijados en el estatuto, como el aéreo y el marítimo.<br>• Falta un enfoque único para la adaptación al cambio climático y la planificación de la resiliencia para la infraestructura de los puertos.<br>• La AMA ha tenido problemas en cumplir con el itinerario de sus rutas.<br>• El Tren Urbano consume mucha energía eléctrica. Una manera de disminuir ese consumo energético sería colocar placas solares en el techo de sus estaciones. Además, este sistema de transporte presenta problemas para atraer usuarios. |

| | Debilidades |
|---|---|
| INTERNO | • Reactivar a los porteadores públicos a través de nuevas rutas, aumentando servicios los domingos. Alinear las rutas con las nuevas tendencias poblacionales y de viaje como estrategia para ayudar a disminuir las emisiones de GEI.<br>• Mejorar y expandir la infraestructura para el mantenimiento de los carros eléctricos.<br>• Desarrollar infraestructura de puertos aéreos y marítimos fuera del área metropolitana. |

| | Oportunidades |
|---|---|
| ORIGEN EXTERNO | **¿Se identifican tendencias de beneficio?**<br>• La Administración Federal de Aviación (FAA) creó el Plan de acción climática de la aviación 2021 para afrontar los retos que conlleva mitigar los posibles efectos del cambio climático sobre la infraestructura aeroportuaria y sus potenciales repercusiones sobre la economía nacional. El propósito es alcanzar la meta de cero emisiones para el 2050.<br>• Todos los aeropuertos públicos de Puerto Rico son parte del Plan Nacional de Sistemas Aeroportuarios Integrados de la FAA, el cual tiene como objetivo desarrollar la infraestructura e instalaciones aeroportuarias a través de sus diferentes programas para asignar los fondos y recursos necesarios.<br>• La Autoridad de los Puertos y el Cuerpo de Ingenieros identifican las posibles fuentes de financiamiento para realizar proyectos necesarios para el control de inundaciones en el Aeropuerto Internacional Mercedita de Ponce (PSE).<br>• La Ley de Infraestructura federal (2021) autoriza hasta $108,000 millones para apoyar las iniciativas de los programas de transportación pública por un período de 5 años. De esos fondos, hay $5,600 millones para la compra de autobuses de baja o ninguna emisión y para la construcción de instalaciones de combustible y mantenimiento. Otros $250 millones están asignados para la transición de ferris de baja o ninguna emisión.<br>• Como parte del desarrollo del borrador del P-MARCC, se analizó el índice de especialización industrial por municipio en Puerto Rico para el 2022. En este análisis se identificaron oportunidades de empleo en el sector de transportación, que fortalecen la implantación de los cursos de acción incluidos en la sección 7.3.<br>• Se cuenta con el PIR, que es base para la transición hacia un sistema de energía renovable y alterna. Esto representa una oportunidad paralela para el cambio a vehículos híbridos, eléctricos o que utilicen otros métodos. |

| | Amenazas |
|---|---|
| | **¿Qué obstáculos se identificaron?**<br>• La AMA ha tenido problemas en cumplir con el itinerario de sus rutas. Esto hace al sistema ineficiente y fomenta la pérdida de usuarios.<br>• Problemas de infraestructura para hacer viables la compra y el uso de vehículos eléctricos. |

| ORIGEN | Amenazas |
|---|---|
| EXTERNO | • Se evidencia que falta integración de esfuerzos para viabilizar la transformación del parque vehicular de Puerto Rico a uno de vehículos eléctricos.<br>• Varias carreteras principales están amenazadas por el aumento del nivel del mar.<br>**¿Cuáles son las condiciones económicas?**<br>• En el 2014, la AMA anunció la reducción de rutas y la eliminación del servicio los domingos, debido a problemas financieros y a la incapacidad de poner en operación una gran cantidad de sus autobuses.<br>**¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?**<br>• Burocracia en los procesos.<br>**¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• Los puertos localizados en la costa este, sur y en Vieques y Culebra tienen una mayor probabilidad de recibir daños significativos por los efectos de los sistemas ciclónicos, cuya trayectoria proviene generalmente del este hacia el oeste o noroeste.<br>• La infraestructura del principal aeropuerto de Puerto Rico, el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín es vulnerable al aumento del nivel del mar. Por otro lado, el Aeropuerto Internacional Mercedita de Ponce tiene un problema de inundaciones, en especial cuando ocurren lluvias torrenciales.<br>• Las carreteras construidas en áreas propensas a derrumbes, inundaciones ribereñas y costeras (marejada ciclónica, oleaje asociado a sistemas ciclónicos, marejadas, aumento del nivel del mar o combinadas).<br>• La necesidad de aumentar la redundancia en el sistema de aeropuertos de Puerto Rico.<br>• La dependencia excesiva del vehículo privado.<br>• Los puertos son vulnerables al aumento del nivel del mar.<br>• No hay capacidad de generación de energía eléctrica suficiente para cubrir la demanda de los vehículos eléctricos. |

**Tabla 36.**

*Matriz o análisis FODA del sector de residuos sólidos*

| ORIGEN | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 fija objetivos iniciales de reducción de los residuos sólidos y provee guías para reducir la vulnerabilidad, las emisiones de GEI, el desperdicio alimentario y el consumo de recursos.<br>• La EPA otorgó $40 millones al DRNA para realizar una actualización de la caracterización de residuos sólidos, cerrar vertederos en incumplimiento con los reglamentos locales y federales y desarrollar estrategias para el manejo de los residuos. |

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|

**¿Qué se está haciendo bien?**

- El DRNA se encuentra en el proceso de solicitud de propuestas para la elaboración de un Plan Integrado de Manejo de Desperdicios Sólidos que ayude a desarrollar la infraestructura que permita el manejo tecnológico, económicamente adecuado y viable de los residuos sólidos.
- El DRNA otorgó un contrato para la caracterización de residuos sólidos, actualmente en desarrollo (septiembre del 2023).
- El gobernador emitió una orden de emergencia para el manejo de los residuos sólidos.
- El gobernador firmó una orden ejecutiva que requiere el uso de llantas usadas trituradas en el asfalto que se utilice para pavimentar las carreteras.

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|

**¿Qué falta por integrar?**

- Contabilidad del carbono que genera el manejo y la disposición de los residuos sólidos para entender su impacto en el cambio climático y para generar estrategias que reduzcan la huella de carbono.
- Un sistema de recolección de datos que genere continuamente la información sobre los tipos de residuos que se producen, las cantidades desechadas de cada material, en qué áreas de Puerto Rico se generan, qué productos derivan de qué materiales, dónde se manejan y depositan los residuos sólidos en Puerto Rico y el estado presente de las instalaciones de rellenos sanitarios.
- Generar estrategias de política pública para incentivar la reutilización o reparación de productos, la reducción de residuos y el reciclaje de materiales útiles. Ya existen grupos trabajando con la recuperación y búsqueda de alternativas para residuos como son, por ejemplo, los materiales vegetativos. Hay oportunidad de mayor organización y coordinación.
- Puerto Rico genera cinco libras de residuos per cápita, una tasa mayor que los países industrializados de Europa.
- Faltan mercados locales para el reúso y reciclaje de residuos.

**¿Qué área necesita mejoras?**

- Según datos provistos por el DRNA, 14 de 25 instalaciones de rellenos sanitarios no cuentan con geomembranas para evitar la fuga de lixiviados.

**INTERNO**

**Debilidades**

- Los datos del DRNA indican que la tasa de desvío o reciclaje de 14.58 % en el 2018 está muy por debajo de las metas establecidas en la Ley para la Reducción y el Reciclaje de Residuos Sólidos en Puerto Rico (Ley 70-1992), según enmendada, que estableció una meta de reciclaje del 35 % de los residuos sólidos para el 2006.
- El cierre de todos los vertederos ubicados de la zona del karso para evitar la contaminación del agua subterránea.

**ORIGEN EXTERNO**

**Oportunidades**

**¿Se identifican tendencias de beneficio?**

- El proceso de desarrollo de un plan integrado de manejo sostenible de residuos sólidos liderada por el DRNA es una gran oportunidad integrar las disposiciones contenidas en el P-MARCC y la Ley 33-2019.
- Existen unas órdenes de cierre de rellenos sanitarios que pueden propiciar a corto plazo el desarrollo de un programa efectivo de reciclaje. Actualmente se han emitido once órdenes de cierre.
- La falta de espacio suficiente para cumplir con los criterios mínimos para nuevos rellenos sanitarios provee oportunidades para fortalecer el reúso y reciclaje de residuos.
- Algunas órdenes de cierre de rellenos sanitarios pueden propiciar a corto plazo el desarrollo de un programa efectivo de reciclaje.

**ORIGEN EXTERNO**

**Amenazas**

**¿Qué obstáculos se identificaron?**

- Las regulaciones del comercio interestatal pueden limitar las medidas disponibles para reducir los residuos generados. Prohibir ciertos materiales puede ser difícil.
- La oposición ciudadana a la ubicación de rellenos sanitarios, estaciones sanitarias y otras instalaciones para el manejo de residuos sólidos.
- La veda para recibir residuos de plástico en China, Malasia y Camboya.
- El cierre de vertederos además de los once cierres ordenados por la EPA.

**¿Cuáles son las condiciones económicas?**

- Los indicadores económicos que usa el gobierno estatal fomentan el consumismo continuo y, por ende, la generación continua de residuos sólidos.
- No hay fondos federales para el diseño y construcción de rellenos sanitarios.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | **¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?**<br>• Los empaques de comida, medicinas y productos médicos están regulados por el gobierno federal, lo que presenta retos para hacer empaques con material reciclado.<br>• Los reglamentos federales limitan los lugares donde se pueden ubicar nuevos rellenos sanitarios.<br>**¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• A base de los datos de capacidad y años de vida de los rellenos sanitarios, en los próximos cinco años se perderá el 35 % de la capacidad y en 15 años se perderá el 46 % de la capacidad de recibir residuos sólidos. Este escenario está sujeto a que no ocurran eventos climatológicos extremos que generen cantidades atípicas de residuos sólidos y reduzcan su expectativa de vida. Algunos rellenos sanitarios tienen una vida útil de cinco años o menos.<br>• Cuando ocurren huracanes y tormentas tropicales se genera una cantidad atípica de escombros y material vegetativo que pueden disminuir la vida útil de los rellenos sanitarios y vertederos.<br>• La cantidad de residuos que puedan generar cuando se cumpla la vida útil de los sistemas de placas solares y baterías de almacenamiento.<br>• La cantidad de residuos que puedan provenir de las baterías que cumplan su vida útil. |

**Tabla 37.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector de salud y bienestar***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 atiende la necesidad de desarrollar estrategias del sector de salud para la mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático en Puerto Rico.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Las recomendaciones del Departamento de Salud a las agencias de gobierno y los municipios de que utilicen el modelo conceptual conocido por sus siglas en inglés como BRACE, elaborado por los CDC, para analizar sus actividades, políticas y tecnologías de mitigación y adaptación al cambio climático.<br>• El desarrollo de material educativo sobre los efectos de las olas de calor y el polvo del Sahara.<br>• Divulgación de una guía de salud pública en emergencias y desastres, producida por el Departamento de Salud en el 2022[663]. |

[663] Véase la guía en: https://www.salud.pr.gov/CMS/DOWNLOAD/5418

ORIGEN INTERNO

**Fortalezas**

- La colaboración del Departamento de Salud con el *Caribbean Climate and Health Responders Course* de la Universidad de Columbia.
- La colaboración entre la Secretaría de Salud Familiar y Servicios Integrados consistente en campañas educativas sobre las olas de calor y la importancia del consumo de agua.
- Las colaboraciones del Centro Comprensivo de Cáncer con el Recinto de Ciencias Médicas de la Universidad de Puerto Rico relacionadas con el polvo del Sahara y su efecto en la salud, con fondos de la NASA.
- La redacción de un plan sobre control de cáncer que considera eventos de desastres y un plan de preparación y reacción para que los pacientes de cáncer o los servicios preventivos de cáncer no resulten afectados.
- Trabajos de investigación a nivel doctoral en salud ambiental sobre el cambio climático y la salud, en colaboración con el Departamento de Salud.
- La creación de un curso para los estudiantes de Medicina con un contenido de salud pública, dentro del cual se incorporaron temas ambientales y ecológicos.
- El Servicio Nacional de Meteorología tiene un sistema de aviso de olas de calor.

ORIGEN INTERNO

**Debilidades**

**¿Qué falta por integrar?**

- Implantar en el Departamento de Salud el modelo conceptual BRACE para identificar cómo el cambio climático ha afectado y afectará la salud humana, y la guía para desarrollar e implantar planes de adaptación con un enfoque en la justicia, equidad, diversidad e inclusión, conocido por sus siglas como JEDI.

**¿Qué área necesita mejoras?**

- La preparación del sector de la salud pública para mitigar las enfermedades relacionadas con eventos como las nubes de polvo del Sahara, debido a que es baja aún.
- Mejorar la capacidad y confiabilidad del sistema eléctrico para satisfacer las demandas de energía durante las temporadas cálidas. Actualmente es frágil y obsoleto.
- Mejorar la capacidad del sistema de producción y distribución del sistema de agua potable durante eventos de tormentas.
- Instalar placas solares y baterías en casas para mantener el suministro de energía eléctrica durante interrupciones de la red eléctrica.
- Preparar áreas de oasis apoyadas con placas solares y baterías para enfrentar el calor extremo.
- Puerto Rico tiene la mayor tasa de asma en niños de los Estados Unidos. Por lo tanto, se necesita mayor atención en salud.
- Puerto Rico tiene la tercera mayor tasa de diabetes en los Estados Unidos.

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | • Puerto Rico tiene el mayor nivel de sobrepeso y obesidad de los Estados Unidos. Afecta al 68.3 % de la población de 18 años o más, en gran medida debido a hábitos alimenticios inadecuados, según estadísticas del Departamento de Salud de Puerto Rico.<br>• La burocracia de las agencias para todo tipo de iniciativas.<br>• La necesidad de diseñar metodologías apropiadas para la investigación comprensiva en el tema de cambio climático y sus efectos en la salud.<br>• Capacitar a las personas a cargo de los sistemas de vigilancia en el sistema de salud para que reconozcan los riesgos y los efectos del cambio climático en la salud. Las personas a cargo de la vigilancia de salud pública no pueden relacionar las sintomatologías de los pacientes con eventos asociados al cambio climático.<br>• No existe un plan a largo plazo para atender los efectos del cambio climático en la salud. |

| ORIGEN EXTERNO | Oportunidades |
|---|---|
| | **¿Se identifican tendencias de beneficio?**<br>• Un estudio titulado Flood protection ecosystem services in the coast of Puerto Rico: *Association between extreme weather, flood hazard mitigation and gastrointestinal illness* encontró que la infiltración natural que provee el suelo del karso puede ayudar a prevenir inundaciones y la ocurrencia de enfermedades gastrointestinales.<br>• Un estudio titulado Trauma and Collective Memory, con enfoque ecosocial, identificó lo crucial que son los esfuerzos comunitarios para la protección efectiva de los grupos más vulnerables. Entre los efectos relacionados mayormente con la salud mental están el trauma, la ansiedad y la depresión.<br>• Una investigación titulada *Puerto Ricans One Year After Hurricane Maria: Secondary Analysis of Factors Affecting Stress Due to Hurricane Effects* resalta la importancia de que los gobiernos tanto locales como federal establezcan planes para aminorar la carga de salud mental y asegurar y facilitar el acceso a los servicios de salud mental luego de desastres naturales.<br>• Los trabajos de facilitadores y psicólogos sociales comprometidos con la justicia climática pueden tener un rol clave en fortalecer los esfuerzos de transformación comunitarios posdesastres.<br>• Existen fondos federales para la aclimatación de hogares por debajo del nivel de pobreza de los Estados Unidos (comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas).<br>• Hay fondos federales para la instalación de placas solares y baterías en hogares de personas o familias por debajo del nivel de pobreza de los Estados Unidos. |

ORIGEN EXTERNO

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- Los eventos extremos como los huracanes y tormentas tropicales en Puerto Rico y, en consecuencia, la destrucción de la red eléctrica que afectó las plantas de tratamiento de agua.
- Falta de acceso a datos necesarios para realizar investigaciones sobre las consecuencias del cambio climático en la salud o acceso a bases de datos incompletas.
- Falta de gobernanza adecuada para el manejo de los fondos asignados.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Según el Centro de Información Censal, en su nota del 2018 titulada Desigualdad social en Puerto Rico vs. el mundo, a Puerto Rico se le catalogó como el tercer país con mayor desigualdad económica y con altos niveles de desigualdad social. El coeficiente de Gini (medida de desigualdad económica entre familias) ha sido relativamente alto en Puerto Rico durante la crisis económica.
- Puerto Rico continúa en una crisis económica y sujeto al Plan Fiscal aprobado, lo que limita las asignaciones presupuestarias locales para iniciativas relacionadas con el cambio climático. Por el momento, el trabajo se tiene que realizar con los recursos existentes. Sin embargo, se han aprobado iniciativas a nivel del gobierno federal de los Estados Unidos para asignar fondos para el desarrollo de competencias, investigaciones e infraestructura que atiendan los efectos del cambio climático en la salud.
- Para el presupuesto federal del 2024 se vislumbra la inversión de $52,000 millones de presupuesto de autoridad discrecional para atender el cambio climático. Esto es $10,900 millones más que los asignados para el 2023, un aumento de cerca del 26 %. Además, el presupuesto federal provee $179 millones al Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental (National Institute of Environmental Health Sciences) para apoyar investigaciones dirigidas al entendimiento de los efectos del cambio climático en la salud. Esto representa $25 millones adicionales al presupuesto federal aprobado para el 2023. A nivel federal se vislumbra una asignación de $4.65 millones para la Oficina de Cambio Climático y Equidad en Salud adscrita al Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos que sirve como centro de convocatoria, coordinación y supervisión de los esfuerzos relacionados con el cambio climático en toda la agencia. Sin embargo, es un reto poder accesar los fondos para Puerto Rico, por lo que atender el problema del cambio climático y la salud debe cobrar prioridad al momento de asignar fondos a nivel local.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Al momento, más allá de la promulgación de la Ley 33-2019, no existen regulaciones a nivel de Puerto Rico que atiendan el asunto de los estresores provocados por el cambio climático y las consecuencias de sus manifestaciones en la salud.
- Desde el punto de vista de los determinantes sociales de la salud, son múltiples las agencias que tienen un rol muy importante en mejorar aquellas condiciones que exacerban los efectos de las amenazas del cambio climático en la salud.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | • La falta de regulación adecuada afecta negativamente la protección de la salud ante eventos relacionados con el cambio climático. Por otra parte, las regulaciones pueden añadir burocracia a los procesos.<br>**¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• Los determinantes sociales de la salud son vulnerables a los eventos extremos.<br>• Estos son los servicios esenciales como la salud ambiental, el sistema de atención médica y el acceso a la población al sistema de salud y al agua potable. Los eventos extremos afectan negativamente también a las poblaciones vulnerables con impactos a la salud física, mental y la calidad de vida.<br>• Las enfermedades gastrointestinales aumentan luego de eventos de lluvia.<br>• El potencial de transmisión de enfermedades del Aedes aegypti está influenciado por la temperatura y la precipitación. Asimismo, hay contaminación de los ríos y otras fuentes de agua con enterococos y leptospirosis.<br>• En Puerto Rico, las costas este y sur son más vulnerables a cantidades masivas de sargazo.<br>• Alta prevalencia de asma entre niños en la zona metropolitana de San Juan, donde también se han registrado olas de calor intenso.<br>• Eventos más frecuentes e intensos de nubes de polvo del Sahara.<br>• Eventos más frecuentes de niveles altísimos de turbiedad en el agua potable debido a lluvias intensas y mayor frecuencia de niveles insalubres de patógenos en las playas.<br>• Mayor frecuencia de días con temperaturas extremas (golpe de calor). |

**Tabla 38.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector de agricultura y ganadería***

| ORIGEN | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 contempla medidas para atender el cambio climático bajo el sector.<br>• Sistemas de canales para riesgo agrícola operados por la AEE.<br>• Embalses para agua de riego, operados por la AEE.<br>• Tierras excepcionalmente fértiles en el valle de Lajas y en la costa de Santa Isabel.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Reúso de aguas usadas tratadas para el riego de pastos. |

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Incrementar el riego agrícola con aguas usadas tratadas.<br>• Detener la introducción salina en los acuíferos con barreras hidráulicas (inyección) establecidas con aguas usadas tratadas.<br>• Reabastecimiento de acuíferos con aguas usadas tratadas.<br>• Eliminar cosechas que requieran un alto consumo de agua como la caña de azúcar.<br>• Desarrollar variedades de cultivos que requieran poco consumo de agua.<br>• Inventario adecuado de terrenos agrícolas con precios de arrendamiento y compra accesibles y razonables.<br>• Riego suplementario agrícola para algunas zonas, especialmente la zona sur, donde se encuentran la mayoría de los suelos fértiles, llanos y mecanizables.<br>• Identificar las áreas que se desean regar y la infraestructura disponible.<br>• Definir el criterio de riego para llegar a los requisitos de agua considerando cultivos, época del año, características de los suelos y la calidad del agua.<br>• Un sistema de gestión de pesca sostenible. |

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué área necesita mejoras?**<br>• Se importa el 85 % de los alimentos.<br>• Los canales de riego agrícola de la AEE pierden el 60 % del agua.<br>• Las personas no quieren trabajar en la agricultura.<br>• Los productos agrícolas importados cuestan menos que los producido localmente.<br>• Reducción en las emisiones de GEI por animales y el manejo del estiércol.<br>• Prácticas agrícolas que reduzcan la erosión y devuelvan carbono (C) al suelo, y que se minimice la pérdida de nutrientes, especialmente nitrógeno.<br>• Productividad agrícola de forma sostenible que mejore la resiliencia, reduzca y remueva GEI y que aumente la seguridad alimentaria local.<br>• Dragar embalses que están sedimentados y suplen agua para riego agrícola.<br>• Expeditar las mejoras estructurales a los embalses Guajataca y Patillas para aumentar significativamente la capacidad de almacenamiento de agua de ambos embalses. Ambos embalses suplen agua para riego agrícola.<br>• Vigilancia al creciente número de pescadores que operan sin licencia y a los que no cumplen las reglas, como las vedas por temporadas.<br>• Aumentar la pesca en Puerto Rico; se pesca solo el 10 % del pescado que se consume. |

ORIGEN EXTERNO

## Oportunidades

### ¿Se identifican tendencias de beneficio?

- Países que suplen nuestra comida producirán menos debido a los efectos del cambio climático. Esta situación aumentará los precios y disminuirá la disponibilidad de ciertos alimentos. Ambas condiciones propiciarán el cultivo local de alimentos.
- Se evidencia tendencia de desarrollo de huertos caseros.
- El gobierno federal aumentó la asignación de fondos del PAN. Esto le permite a la población desatendida, desfavorecida y desventajada comprar productos locales, aunque cuesten más que los importados.
- El DA busca duplicar el nivel de pesca actual, estimado en el 10 % del pescado que se consume en Puerto Rico.

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- El aumento de la temperatura requerirá un 20 % más de agua de riego para producir la misma cantidad de alimento, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- El aumento del nivel del mar reducirá la disponibilidad de agua subterránea para riego agrícola.
- El cambio del patrón de lluvia podría afectar la siembra y desarrollo de cultivos.
- Las altas temperaturas disminuyen la producción de leche.
- El aumento de frecuencia e intensidad de tormentas tropicales y huracanes aumenta la destrucción de cultivos.
- El impacto del aumento del calor sobre las abejas afectará la polinización de las mismas.

### ¿Cómo se encuentran las condiciones económicas?

- El gobierno de Puerto Rico continúa en bancarrota, por lo tanto los fondos locales para promover la agricultura son bien limitados.
- El costo de la electricidad, el combustible, los fertilizantes y alimentos es mayor en Puerto Rico que en otras jurisdicciones de los EE. UU. Por lo tanto, los costos de operación son mayores, lo que no nos permite competir.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Las leyes de comercio interestatal no permiten prohibir la venta a pérdida (dumping).
- Las leyes federales de protección al trabajador agrícola encarecen el producto agrícola local.
- Las leyes federales de protección ambiental y control de plaguicidas encarecen también el producto local.
- La ley federal de salario mínimo encarece el producto agrícola local.
- Las leyes federales de inmigración obstaculizan el gestionar trabajadores agrícolas extranjeros para compensar la mano de obra local.

ORIGEN EXTERNO

## ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- La pérdida de área agrícola por factores exógenos sociales, políticos y económicos es un elemento importante que amenaza la sostenibilidad del sector agrícola de Puerto Rico ante el cambio climático, ya que es la base del recurso natural del cual la industria depende.
- La merma de agua ocasionada por el cambio climático es uno de los mayores desafíos para establecer la soberanía alimentaria.
- Las zonas templadas que suplen a Puerto Rico reducirán sus rendimientos de los cultivos y la cría de animales.
- Se afectarán las economías de las empresas agrícolas y la competitividad del sector agrícola a nivel local, y se pondrá en más riesgo aún la seguridad y soberanía alimentaria del país.
- Se evidencia tendencia de reducción en la fuerza laboral del sector y mayor número de personas de edad avanzada para esa labor.
- En áreas con estrés hídrico habrá mayor presión sobre los recursos de riego, principalmente en la zona sur de Puerto Rico.
- La mayoría de la producción agrícola en Puerto Rico se da en secano. Las condiciones de sequía pueden provocar rápidamente reducción en la humedad del suelo, estrés hídrico en la planta y reducción en la magnitud y calidad del rendimiento.
- Los cultivos permanentes de la montaña como frutales y café podrían ser especialmente vulnerables al estrés hídrico.
- Bajo condiciones de sequía, los cultivos pueden ser más susceptibles a la incidencia de plagas, provocando mayor dependencia en el uso de plaguicidas sintéticos.
- El calentamiento excesivo reduce la capacidad de las vacas de producir leche y disminuye las tasas de preñez.
- El alza en la temperatura puede aumentar los costos de enfriamiento de los establos y aumentar los costos de producción por la necesidad de aplicar prácticas de conservación.
- Los efectos de sequías frecuentes y prolongadas afectan la productividad de las
- pasturas y otros cultivos producidos como alimento, reduciendo la disponibilidad de alimentos y aumentando la dependencia de granos importados.
- Las sequías hacen a las pasturas susceptibles a fuegos con pérdidas económicas grandes e inmediatas. En las áreas de pastoreo, el exceso en el pastoreo provoca disminución en la calidad y hace a los suelos más susceptibles a la erosión.
- Los fuegos forestales pueden destruir los cultivos de la montaña.
- Entrevistas a pescadores revelan su percepción de que la contaminación terrestre, el cambio climático, especies invasoras y la sobrepesca han provocado el descenso de la cantidad de peces que pueden ver y capturar.

| | Amenazas |
|---|---|
| | • Pescadores informan de menos peces y creen que están migrando a aguas más profundas a causa del cambio climático y la contaminación.<br>• Un estudio indica que los pescadores han modificado las prácticas de su oficio después del huracán María, por lo que se debe analizar su impacto.<br>• Dependencia de la pesca comercial para la seguridad alimentaria. En Puerto Rico, el 90 % de las principales fuentes de aminoácidos y proteínas del mar son importadas. |

**Tabla 39.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector agua***

| | Fortalezas |
|---|---|
| ORIGEN INTERNO | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• Hay fondos disponibles provenientes de la recuperación del huracán María que se pueden utilizar para atender los problemas de distribución y calidad de agua.<br>• La AAA ha invertido en recursos para detectar la pérdida del agua, lo cual podría reducir la pérdida del recurso de un 60 % a un 17 % que es la norma internacional.<br>• La AAA suple agua potable al 97 % de la población en Puerto Rico.<br>• La AAA tiene acceso a fondos recurrentes de la EPA para infraestructura de agua potable e infraestructura de aguas usadas.<br>• Actualmente se cuenta con fondos de FEMA para el dragado del embalse Carraízo.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Se han desarrollado diferentes estudios puntuales en Puerto Rico para ver el comportamiento de precipitación, sequía y demás variables climatológicas que afectan al recurso hídrico.<br>• La OE-2015-026 encomienda al DRNA coordinar la atención a la crisis del agua y proteger los acuíferos en la región sur.<br>• El DRNA declaró al Acuífero del Sur en “estado crítico”. El DRNA prohibió para el área primaria la construcción de nuevos pozos y limitó el aumento del agua que se extrae de los pozos existentes en un esfuerzo por proteger el acuífero (Orden Administrativa 2015 – 018).<br>• El CEACC presentó una serie de cursos de acción en torno al recurso agua en Puerto Rico el 22 de marzo de 2022.<br>• Se está reusando el 90 % de las aguas usadas tratadas de la planta Regional de Tratamiento de Aguas Usadas de Guayama, para las aguas de enfriamiento de AEE. |

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué falta por integrar?

- Las cuencas hidrográficas del noroeste y sureste están identificadas como las más comprometidas por las tendencias de precipitación. Por lo tanto, el buen manejo del recurso hídrico de esas cuencas comprometidas debe ser prioridad para todas las agencias pertinentes (DRNA, AAA, AEE) y para las comunidades ubicadas en esas zonas más vulnerables a la sequía.
- La recarga artificial de acuíferos como técnica que se puede utilizar para aumentar la cantidad de agua que se infiltra en el suelo y, por lo tanto, aumentar la recarga de los acuíferos. Esto se puede lograr mediante la construcción de embalses, la infiltración de agua tratada o la recarga de pozos específicos.
- Reúsos de las 228 mgd de las aguas usadas tratadas que genera la AAA.
- Implantar el programa de conservación de agua de WaterSense que bajaría el consumo de un 40 % de los hogares en Puerto Rico.
- Reducir la pérdida de agua en el sistema de distribución.
- Reducir la sedimentación de los embalses mediante un programa de reforestación masiva aguas arriba de los embalses.

### ¿Qué área necesita mejoras?

- La capacidad de almacenamiento de la mayoría de los embalses está seriamente comprometida por la sedimentación.
- La destrucción de 144 millones de árboles por el huracán María empeoró la situación de la sedimentación de los embalses.
- Racionamiento de agua y grandes pérdidas agrícolas. El racionamiento de agua en Puerto Rico se relaciona a menudo con la falta de infraestructura adecuada, la mala gestión del agua y la falta de inversión en el mantenimiento y mejora de la infraestructura existente. Por lo tanto, se necesitan esfuerzos a largo plazo para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua en toda la isla. Suplir agua a pesar de la sequía para evitar el racionamiento.
- A pesar de la declaración de estado crítico de los acuíferos del sur y las medidas del DRNA para atender esta situación de emergencia, en Salinas estas medidas no han sido suficientes y se ha establecido una prohibición de construcción. Sin embargo, se necesitan estrategias para la recarga de estos acuíferos. Cumplir con el Plan de Manejo establecido para acuíferos en estado crítico en el caso del acuífero del sur.
- Los canales de riego agrícola pierden el 60 % del agua que suplen a plantas potabilizadoras.
- La AAA pierde el 60 % del agua que produce.
- La AAA carece de un mantenimiento preventivo efectivo de todas sus plantas.
- Los sistemas de la AAA carecen de un sistema de redundancia que permitan la continuidad de las operaciones cuando se suspende el servicio de energía eléctrica o se afecte un componente mecánico.
- La AEE no ha dragado los embalses que suplen agua a la AAA.

## Debilidades

- La sobreexplotación de los acuíferos es un problema en Puerto Rico, especialmente en la costa sur donde se encuentra el acuífero de Santa Isabel.

ORIGEN

## Oportunidades

### ¿Se identifican tendencias de beneficio?

- Se están identificando mediante investigaciones las áreas más vulnerables a menos lluvias y a sequías. Esto ayudaría a implantar proyectos como, por ejemplo, cosechas de lluvia.
- Se están asignando fondos para el dragado de los embalses críticos.
- Se están empleando recursos para identificar y reparar las averías en el sistema de acueductos que podrían disminuir la pérdida del recurso.
- Se identifican inversiones recientes en el dragado de embalses y mejoras a la infraestructura que disminuirán la pérdida del recurso.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- La AEE administra los embalses en función de las necesidades de generación de energía del sistema y ni el DRNA ni la AAA tienen la facultad de intervenir en la operación de los embalses de la AEE. El DRNA vuelve a ser el custodio del agua una vez que el recurso sale del embalse y vuelve al cauce del río.
- Las sequías se están volviendo más intensas y frecuentes, en especial en la última década.
- Análisis de tendencias realizados por el CEACC muestran zonas de disminución de lluvia en el noroeste y sureste.
- Cuando se examinan dos de los modelos más actualizados basados en las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) de temperatura superficial para la región de Puerto Rico, las proyecciones de lluvia para la región anticipan menor precipitación en escenarios medianos (RCP 4.5), conservadores y extremos (RCP 8.5).
- Pérdida del recurso en el sistema de distribución de la AAA, que admite perder alrededor del 60 % del agua que produce.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Agencias responsables en el sector agua no poseen los fondos suficientes para el desarrollo de proyectos y estrategias.
- En cuestión de fondos estatales, no hay recursos suficientes para invertir en los cambios necesarios.

ORIGEN EXTERNO

**Amenazas**

- En cuestión de fondos federales, se han aprobado asignaciones económicas para atender ciertos asuntos como el dragado de embalses críticos como Carraízo.
- La AAA está atendiendo con fondos de la corporación y federales los problemas en la infraestructura para disminuir la pérdida del recurso.

**¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?**

- Burocracia en los procesos. Falta de apoyo y unión de esfuerzos entre agencias para viabilizar proyectos.
- Las regulaciones actuales limitan que los ciudadanos puedan cosechar agua de lluvia en sus hogares.
- El DRNA imposibilita el reúso de aguas usadas.

**¿Qué áreas permanecen vulnerables?**

- Puerto Rico es la segunda jurisdicción en América Latina con menos disponibilidad de agua dulce por persona, según el Banco Mundial.
- La intrusión de agua de mar a los acuíferos aumentará a medida que siga subiendo el nivel del mar, reduciendo la disponibilidad del agua subterránea.
- Ocho embalses principales se encuentran en áreas que han experimentado una disminución en la cantidad de lluvia total promedio. Estos son los embalses de Guajataca, Dos Bocas, Caonillas, Comerío, Cidra, Carite, Patillas y Fajardo.
- La acumulación de sedimentos en los embalses es una amenaza para la cantidad y calidad del agua.
- Mayor infiltración de agua salina a los acuíferos limitando la disponibilidad de agua subterránea.
- Merma de la lluvia, disminuirá la capacidad asimilativa de los cuerpos de agua. Esto requerirá un mayor tratamiento de parte de la AAA para producir agua potable.
- La merma de la capacidad asimilativa de los cuerpos de agua requerirá que la AAA invierta en plantas de tratamiento avanzado de aguas usadas para compensar por la falta de capacidad asimilativa.
- El aumento de las lluvias intensas incrementará la sedimentación de los embalses.
- El aumento de lluvias intensas incrementará los niveles de turbiedad en los abastos de agua al punto de interrumpir el suministro de agua.
- El aumento de la temperatura incrementará la demanda de agua.
- La mayor frecuencia e intensidad de los huracanes producirá interrupciones prolongadas en el suministro de agua.
- El aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica destruirán el 70 % de la capacidad de tratamiento de aguas usadas de la AAA.
- Las lluvias intensas provocarán mayor frecuencia en el cierre de las playas debido al alto potencial de contaminación por patógenos.

**Tabla 40.**

*Matriz o análisis FODA del sector* ***sistemas marinos y zonas costeras***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley 33-2019 presenta unas guías precisas para la adaptación y resiliencia de los sistemas marinos y zonas costeras ante las manifestaciones del cambio climático.<br>• Existen varios esfuerzos de restauración de mangles, dunas, poblaciones de erizos y arrecifes.<br>• Agencias federales como la NOAA y el USGS desarrollan continuamente herramientas cartográficas consultivas que ayudan a visualizar el alcance de inundaciones costeras, *water level* y proyecciones de aumento del nivel del mar a nivel regional y local.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Se adjudicaron los fondos sobre el dragado del Caño Martín Peña para restablecer la conexión hidráulica entre la laguna San José y la bahía de San Juan. El proyecto incluirá áreas de conservación para humedales de manglares.<br>• Se cuenta con un plan de pesquería para las aguas bajo jurisdicción federal elaborado por el Caribbean Fishery Management Council. Además, se está realizando un plan de manejo de pesquerías basado en ecosistemas para aguas federales.<br>• Se presentó la OE-2023-009 que declara un estado de emergencia en Puerto Rico por erosión costera.<br>• En el 2021, el CEACC presentó 103 acciones recomendadas para la zona costanera, de los cuales el Gobierno de Puerto Rico acogió 87 para implantar.<br>• Se cuenta con diversos proyectos de mitigación y restauración de componentes costeros que son auspiciados por fondos mayormente federales.<br>• El informe titulado *Rigorously Valuing the Impact of Hurricanes Irma and Maria on Coastal Hazard Risk in Florida and Puerto Rico*, publicado por el USGS en el 2021, documentó tener una herramienta que presenta los daños a los arrecifes de coral en escenarios antes y después de los pasados huracanes.<br>• Estudios presentan proyecciones de reducción de inundaciones costeras a medida que se restauren los arrecifes de coral.<br>• Existen estudios liderados por el Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica (CARICOOS) de la UPR-Mayagüez sobre acidificación de las aguas de Puerto Rico.<br>• Mediante la Orden Ejecutiva OE-2023-009 se ordena al DRNA continuar con la reforestación masiva para reponer los árboles destruidos por los fenómenos atmosféricos que han afectado a Puerto Rico durante los pasados años. La reforestación masiva debe ir dirigida a reducir la sedimentación en los cuerpos de agua y evitar más daños a los arrecifes de coral y las cuencas hidrográficas, entre otros. Como parte de esta reforestación se fomentarán los acuerdos colaborativos con agendas, municipios y entidades privadas y sin fines de lucro para agilizar y acelerar el proceso de reforestación. |

| INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | • El Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico (CoRePI) establece una línea base del estado de las playas de Puerto Rico luego del huracán María, apoyado con fondos de FEMA (HMGP), que tiene datos e información para entender la situación de erosión de las playas para el 2018.<br>• Existe una gran cantidad de fondos federales que pueden ayudar a estudios e implantación de proyectos encaminados a atender el cambio climático en los sistemas marinos y las zonas costeras de Puerto Rico.<br>• El DRNA ya cuenta con un protocolo para el manejo de acumulaciones extremas de sargazo en las costas. |

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Realizar monitoreos y evaluaciones de hierbas marinas a largo plazo para establecer una base de referencia, documentar cambios y evaluar la resiliencia, y desarrollar planes de mitigación de estos importantes ecosistemas ante el cambio climático.<br>• Manejo del sargazo en las costas. La acumulación y subsiguiente descomposición del sargazo puede tener efectos devastadores en el hábitat crítico de especies amenazadas, con un impacto sobre los recursos pesqueros.<br>• Siembra de mangle.<br>• Incrementar la siembra de corales.<br>• Tomar medidas que permitan el desplazamiento de playas tierra adentro.<br>• Establecer la jerarquía de medidas para proteger la costa, priorizando en la infraestructura natural y dejando como última opción la infraestructura dura.<br>• Faltan fondos para el manejo de sargazo y colaboración con otras entidades gubernamentales y privadas para su manejo.<br>• Establecer monitoreos a largo plazo de componentes costeros como playas, dunas, mangles, arrecifes y hierbas marinas, entre otros. La continuación de proyectos de restauración de mangles debe alinearse a monitoreos a largo plazo a través en toda la isla, para poder tener una caracterización de la distribución y diversidad del ecosistema y establecer criterios para enfrentar los efectos del cambio climático.<br>• En Puerto Rico no existe un plan de manejo integrado para pesquerías en aguas bajo la jurisdicción local (0-9 millas náuticas).<br>• En Puerto Rico no existe un plan de manejo integrado de costas que se atempere a la nueva realidad de la costa.<br>• Insertar en los instrumentos de planificación del Gobierno de Puerto Rico vigentes el efecto del aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica en los componentes y comunidades costeras.<br>• Asignación de fondos estatales para implantar los COA que puedan mantenerse en el tiempo. |

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué área necesita mejoras?

- El manejo integrado de las cuencas hidrográficas como estrategia de planificación para la protección de los sistemas marinos y costeros.
- Mitigar el aumento de la sedimentación a lo largo de las cuencas hidrográficas asociado a actividades relacionadas con cambios de uso de terrenos, como la deforestación para reducir el impacto en las costas.
- Promover más monitoreos continuos en componentes costeros (arrecifes, playas, mangles, dunas, hierbas marinas), reducir fuentes terrestres de contaminación, aumentar el uso de medidas de mitigación basadas en naturaleza (nature-based solutions) y establecer más sistemas para observar cómo se comportan los sistemas biogeoquímicos marinos (acidificación, entre otros).
- Aumentar las estrategias de manejo para el control de las enfermedades que se han originado en los corales.
- Se evidencia poco personal en las agencias responsables para implantar los cursos de acción y las estrategias presentadas en el P-MARCC.
- Fiscalización para evitar construcciones ilegales en reserva naturales, mangles y humedales.
- No permitir construcción en áreas vulnerables al aumento del nivel del mar y a todo tipo de marejada.
- Establecer un protocolo contemplando la política pública vigente para la demolición y destrucción de estructuras abandonadas en las costas.
- Los geodatos y la información están fragmentados a través de las agencias y unidades que los manejan.

ORIGEN EXTERNO

## Oportunidades

### ¿Se identifican tendencias de beneficio?

- Desde el 2018 se han replantado pedazos de corales fragmentados luego de los huracanes. Los esfuerzos de replantación continúan en conjunto con proyectos de restauración y viveros de corales. En Culebra existen fincas de corales de A. cervicornis, que han reportado más del 90 % de éxito de sobrevivencia
- La Sociedad Ambiente Marino tiene proyectos activos, financiados por la NOAA, para evaluar los impactos de especies invasoras y para restaurar la continuidad de corales y hierbas marinas en Culebra.
- En un estudio realizado en la ciénaga Las Cucharillas (Cataño) durante los dos años siguientes a los huracanes del 2017 se encontró el 87 % de cobertura vegetal. Se concluyó que esa vegetación mostró resiliencia ante los efectos iniciales de los huracanes.
- El Plan de Manejo de la Cuenca Hidrográfica Cabo Rojo está en revisión y actualización por medio del DRNA.
- Siembra de corales.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- Difícil acceso a información sobre proyectos en curso más recientes que no han sido publicados en la literatura científica. La información y los geodatos están fragmentados a través de diversas fuentes. Las entidades lo manejan como información interna y esto repercute en precisar los diagnósticos y en duplicidad.
- Falta de fiscalización para evitar la construcción clandestina en la costa.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- El deterioro de los componentes marinos y costeros en donde se encuentran los hábitats críticos de especies de importancia comercial puede causar un impacto importante en el recurso pesquero y, por consiguiente, en la actividad pesquera.
- Se cuenta con potenciales fuentes de financiamiento federales no recurrentes, pero no se evidencia que se asigne el manejo de los fondos disponibles a entidades estatales responsables de implantar los proyectos y estrategias de los COA para dar continuidad a la implantación y mejora.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Burocracia en los procesos.

### ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- Arrecifes de coral comprometidos por el impacto mecánico de los huracanes, las altas precipitaciones, descargas de sedimentos en suspensión, altas temperaturas, calidad de agua, enfermedades y cambios en la acidificación del agua. Este es uno de los componentes marinos más vulnerables a las manifestaciones del cambio climático.
- La invasión generalizada de *Halophila stipulacea* nativa del océano Índico en el Caribe oriental en combinación con la dispersión a gran escala de sargazo representan amenazas recientes a la persistencia de las hierbas nativas.
- Los humedales están amenazados por el desarrollo de urbanizaciones, rellenos sanitarios de residuos sólidos o vertederos (estos pueden interferir con el agua subterránea que va al humedal), canalizaciones, construcción de carreteras y marinas, proyectos agrícolas (abonos, insecticidas y herbicidas), así como por el desmonte en las zonas de captación de las cuencas hidrográficas.
- Los manglares en Puerto Rico están amenazados por el dragado para la agricultura y el desarrollo urbano, tala ilegal, la contaminación de las aguas residuales y la destrucción de los ecosistemas de barrera, como las dunas y arrecifes de coral. Asimismo, se afectan por eventos extremos tales como huracanes, terremotos y anomalías en precipitación sumado al impacto de rellenos para la agricultura.
- Las playas están expuestas a sufrir impactos al manejo incorrecto del uso del terreno que incrementa ante las manifestaciones del cambio climático.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | • Para julio de 2018, las secciones costeras con mayor problema de erosión se ubicaban en los municipios de Vieques, Culebra, Isabela, Loíza, Luquillo, Patillas, Humacao, Dorado, Ponce y Yabucoa.<br>• Aproximadamente 99 kilómetros de línea de costa presentan migración de la línea de costa tierra adentro a lo largo de los 44 municipios costeros. Estas áreas con migración de la línea de costa tierra adentro pueden estar más expuestas a mayor alcance de inundaciones en futuros eventos.<br>• Se identificó erosión en secciones de playas adyacentes a estructuras rígidas en la mayoría de los municipios.<br>• El pez león es una especie invasora en las aguas del mar Caribe jurisdiccionales de Puerto Rico.<br>• El aumento del nivel del mar causará más erosión de costas, propiciará un aumento en estructuras abandonadas y provocará la desaparición de playas.<br>• El incremento de episodios del polvo del Sahara afectará los arrecifes de coral.<br>• El cambio climático traerá más sargazo a las costas de Puerto Rico.<br>• El aumento de la frecuencia e intensidad de las lluvias incrementará la cantidad de sedimentos que lleguen a la costa.<br>• Los episodios de altas temperaturas en el mar incrementarán la incidencia de blanqueamientos de corales.<br>• El aumento de la frecuencia e intensidad de huracanes afectará los arrecifes de coral. |

**Tabla 41.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector de ecosistemas terrestres***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley de Vida Silvestre (Ley 241-1999) habilita al DRNA para aplicar los mecanismos en ley con el propósito de proteger, conservar y fomentar las especies de vida silvestre tanto nativas como migratorias de Puerto Rico, entre otras disposiciones.<br>• Ante la necesidad de ser más resilientes y mitigar los efectos del cambio climático, se identifican nuevas oportunidades de programas estatales y federales enfocados en el desarrollo de proyectos de reforestación y de forestación urbana con el fin de incrementar la infraestructura verde en estas zonas y de los servicios ecológicos asociados a esta infraestructura.<br>• El proyecto para la reproducción en cautiverio de la cotorra puertorriqueña se ha replicado en diferentes áreas de Puerto Rico.<br>• El proyecto de recuperación del gavilán de la sierra en Adjuntas.<br>• Proyecto de recuperación del sapo concho puertorriqueño en el Bosque Seco de Guánica. |

ORIGEN INTERNO

## Fortalezas

- Se cuenta con el reglamento DRNA 6766 del 2004 para regir las especies vulnerables y en peligro de extinción. El reglamento establece los mecanismos para designar una especie como vulnerable o en peligro de extinción, establece los criterios para la designación de especies en peligro crítico, regular el manejo de estas especies y establecer planes.

### ¿Qué se está haciendo bien?

- Aunque no necesariamente visibles, existen iniciativas a través de ONG y en alianza con dependencias del gobierno estatal y federal para rehabilitar ecosistemas y recuperar especies. Por ejemplo, colaboradores locales está atendiendo al gavilán de sierra o falcón de sierra. Es el Peregrine Fund, que tiene programas de conservación de aves de rapiña por todo el mundo y tiene un programa en Puerto Rico con varios profesionales a tiempo completo.
- El desarrollo de nuevos estudios que contemplan las tendencias de cambio en nuestros ecosistemas, las consecuencias en nuestras especies y la tolerancia de especies a escenarios de estrés ambiental para ser más efectivos al momento de establecer proyectos para rehabilitarlas, conservarlas y recuperarlas.
- Existen programas modelo (LTER - Estación de El Verde en El Yunque y la Reserva de Investigación Estuarina Bahía de Jobos) cuyas ejecutorias pudieran servir de ejemplo al momento de atender las áreas de oportunidad planteadas tanto en los COA como en la respuesta a la pregunta en las que se identifican obstáculos.
- El Fideicomiso de Conservación ha comprado terrenos para proteger especies y bosques.

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué falta por integrar?

- Conocer cómo las condiciones ambientales en nuestros ecosistemas terrestres están cambiando por el efecto del cambio climático y qué impacto ejercen estas modificaciones sobre la biodiversidad.
- Evaluar cómo el cambio climático propicia la colonización y expansión de especies exóticas que invaden nichos importantes de la flora y fauna autóctona trayendo como consecuencia su desplazamiento.
- Falta de un sistema de monitoreo ambiental unificado que facilite la caracterización ambiental actualizada y las tendencias de cambio en nuestros ecosistemas y hábitats críticos.
- En vez de imponer multas, propiciar que el gobierno adquiera terrenos de alto interés ecológico para protegerlo a perpetuidad.
- Existe un marco legal ambiental tanto estatal como federal robusto, pero a consecuencia de la falta de presupuesto, personal y procesos burocráticos se dilata su implantación y las prácticas expuestas por ley que pueden redundar en beneficios para los esfuerzos de conservación y rehabilitación de nuestros ecosistemas y biodiversidad.

| ORIGEN INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | • La falta de un monitoreo periódico establecido por ley (5 años) que fomente la mejor información sobre el estado poblacional de nuestras especies vulnerables.<br><br>**¿Qué área necesita mejoras?**<br>• La limitación de datos actualizados sobre el estado poblacional de especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción en especial con especies enlistadas en la reglamentación estatal y no en la federal, de las cuales hace falta nueva información.<br>• La falta de información sobre proyectos de alianza que se pudieran estar desarrollando entre el gobierno y las comunidades enfocadas en la rehabilitación de ecosistemas y la recuperación de especies vulnerables. De esta forma se pueden afinar estrategias para ser más eficientes al momento de establecer planes de manejo y proyectos de rehabilitación.<br>• La limitación o ausencia de planes de manejo integral en ecosistemas y áreas críticas a base de estrategias de rehabilitación bajo el contexto del cambio climático, la caracterización ambiental más completa sobre estos ecosistemas y con medidas de mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático.<br>• Falta de fiscalización de las reservas naturales y áreas críticas naturales.<br>• Falta de control efectivo de invasión de especies exóticas.<br>• Falta de un programa de recuperación de la mayoría de las especies de peligro de extinción. |

| ORIGEN EXTERNO | Oportunidades |
|---|---|
| | **¿Se identifican tendencias de beneficio?**<br>• Establecer un hábitat crítico alerta a las agencias federales para que lleven a cabo esfuerzos especiales de conservación para la especie cuando trabajen, financien o permitan actividades en estas áreas.<br>• La conciencia ambiental que se ve materializada entre diversos sectores de la comunidad que pudieran facilitar el desarrollo de proyectos y alianzas que se enfoquen en la rehabilitación de ecosistemas y la recuperación y monitoreo de nuestra biodiversidad.<br>• El Yunque posee un plan de manejo modelo que puede servir de referencia para el desarrollo de otros planes.<br>• Se evidencia potencial de fuentes de financiamiento solo en ecosistemas en áreas urbanas de fondos federales limitadas para reforestación y restauración de ecosistemas en áreas urbanas. |

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- El cambio climático puede incidir en la restauración y rehabilitación efectiva de ecosistemas y de su biodiversidad. Esto presenta grandes retos, ya que las condiciones climáticas actuales establecen una nueva realidad ecológica que puede complicar la efectividad de estas iniciativas.
- En este momento no hay una unificación de sistemas de monitoreo de manera ordenada que permita realizar un diagnóstico a escala real y a través del tiempo para apoyar la toma de decisiones en política pública, planes, proyectos y estrategias que faciliten a los especialistas realizar diagnósticos holísticos en las áreas de estudios.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- No se identifican oportunidades frecuentes y accesibles de fondos federales recurrentes o asignación de fondos federales en las agencias estatales para implantar los COA.
- Limitación de fondos estatales para el desarrollo de estudios de caracterización ambiental en ecosistemas críticos para el desarrollo de sistemas adecuados de monitoreo ambiental y para el monitoreo periódico de la situación poblacional de especies vulnerables y en peligro de extinción.
- Limitación en la adquisición y mantenimiento de equipos de monitoreo ambiental y de un personal que facilite el monitoreo de condiciones ambientales a través de las reservas y áreas protegidas.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- La burocracia en los procesos dilata la implantación.

### ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- El cambio climático modifica las condiciones ambientales a nivel del hábitat y los factores abióticos, generando escenarios de estrés ambiental, en especial, sobre aquellas especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción.
- Los cambios en las temperaturas del ambiente fomentan la expansión de especies exóticas una vez son introducidas a la flora y fauna local, provocando alteraciones en las estructuras tróficas de los ecosistemas, reducciones en las especies nativas y hasta efectos sobre las cosechas que generan pérdidas económicas importantes.
- En Puerto Rico, el USFWS ha designado cerca de 87 especies de animales y plantas como especies amenazadas o en peligro de extinción. Bajo la ley ESA (*Endangered Species Act*) de 1973 se requiere que el secretario(a) del Interior o el de Comercio (según la especie) designe un hábitat crítico federal. En la actualidad, hay 18 especies de plantas y animales bajo ESA con hábitats críticos designados en Puerto Rico.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | • A base de las categorías de mayor preocupación incluidas en las listas de especies en peligros, amenazadas o propuestas en peligro, tanto estatal como federal, los grupos de especies de animales que encabezan las mayores designaciones son las aves, seguidas por los reptiles y anfibios y, en menores números, los mamíferos.<br>• Bajo la lista federal actualizada (agosto 2020) descrita en la sección 4.9 del Plan, el USFWS identifica 18 especies de animales y plantas con designación federal de hábitat crítico en Puerto Rico.<br>• Especies exóticas.<br>• Aumento de la temperatura.<br>• Aumento del nivel del mar.<br>• Merma del recurso agua.<br>• Aumento en la frecuencia de huracanes y tormentas tropicales (caída de árboles) y cambio del hábitat crítico debido al cambio climático. |

**Tabla 42.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector forestación***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• El análisis preliminar del Inventario Nacional Forestal más reciente (2019) identificó especies nativas que están mejor adaptadas a los huracanes (roble blanco y almácigo).<br>• Los bosques tropicales como los de Puerto Rico son los ecosistemas con las tasas de productividad primaria más altas del mundo.<br>• Todos los elementos necesarios para implantar un plan de reforestación para Puerto Rico están presentes en la isla, aunque en forma aislada y operando a niveles bajos de capacidad y extensión. Esto incluye el talento humano, organizaciones privadas, viveros con diversidad de ofrecimientos y capacidades y ejemplos de experiencias exitosas en distintos entornos ecológicos.<br>• La tasa de forestación antes del huracán María era de un 60 %.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Puerto Rico, Vieques y Culebra tienen desde el 1980 una mejor referencia para estudiar los cambios en la cubierta forestal.<br>• Se cuenta con el Fideicomiso de Conservación.<br>• Se cuenta con el Bosque Modelo de las Tierras Adjuntas.<br>• Implantación del plan de manejo de El Yunque. |

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué falta por integrar?

- Reconocer el valor que proveen los nuevos bosques secundarios como infraestructura para la sociedad. El creciente reconocimiento de los servicios ecosistémicos y su valor ambiental, social y económico debe facilitar esfuerzos de conservación de bosques, especialmente considerando el alto potencial que tienen como sumideros de carbono para mitigar el cambio climático.
- Diseñar un plan de reforestación que establezca bosques resilientes y sostenibles. Tal plan debe tomar en consideración la experiencia de la década del 1940 y los principios más avanzados de la ecología moderna.
- Decidir las proporciones de cobertura forestal, usos agrícolas y usos urbanos que queremos como meta.
- La experiencia con la reforestación utilizando especies nativas no fue la mejor en el siglo pasado (Marrero Torrado y Wadsworth 2015) Por lo tanto, en la actualidad no contamos con la identificación de las especies idóneas para el esfuerzo de reforestación.
- No tenemos suficiente capacidad de producción del material vegetativo requerido para la reforestación.
- No hemos documentado las lecciones aprendidas con los esfuerzos de reforestación durante este siglo.
- Poder determinar el mejor uso posible para los bosques secundarios y noveles, considerando la urgencia impuesta por el cambio climático para conservar y aumentar la capacidad de los sumideros de carbono naturales.
- Se están desaprovechando oportunidades económicas que pueden derivar de:
    - Maderas ornamentales que tienen valores que se multiplican por cien al trabajarse.
    - Restauración de la industria de los muebles.
    - El aserrín es un producto secundario utilizado en los establos de caballos.
    - Empleo para miles en los campos.
    - Reemplazo de importaciones de madera.
- Sustentabilidad en la producción y regeneración forestal.
- Incentivo para retener la cobertura forestal.
- Permanencia utilizando servidumbres de conservación.

### ¿Qué área necesita mejoras?

- Mejorar la educación sobre los múltiples beneficios de los bosques, entre estos, los servicios como absorbente de los GEI y, por tanto, mitigador del calentamiento global, entre otros.
- Prevención en la mitigación de los incendios forestales ya que son un problema reciente para la conservación de los bosques de Puerto Rico.
- Aumentar el número de viveros.

## INTERNO

### Debilidades

- El rol del Estado, tanto estatal como federal, se ha circunscrito principalmente al establecimiento de reservas forestales cuyo manejo pasivo se explica por sus usos mayormente recreativos, que cada vez tienen más baja prioridad para el otorgamiento de fondos gubernamentales.
- En el rol de asegurar la conservación de los bosques públicos se han excluido a sectores de la población que encuentran en el bosque vivienda o una fuente de recursos renovables para su sustento material. Como consecuencia la relevancia de los bosques en las personas ha disminuido.

## ORIGEN EXTERNO

### Oportunidades

**¿Se identifican tendencias de beneficio?**

- Dos estudios sobre el balance de carbono en el bosque urbano de San Juan coinciden en que el bosque tiene una alta capacidad de asimilar carbono de la atmósfera y almacenarlo en sedimentos y biomasa. Se encontró que la siembra de árboles en los sectores deforestados de la ciudad aumenta desproporcionalmente la remoción de carbono de la atmósfera. Reforestar la ciudad beneficia la mitigación del cambio climático y las islas de calor a la vez que beneficia el entorno urbano y la salud de los residentes.
- Las empresas internacionales están buscando la oportunidad de financiar la siembra y subsiguiente mantenimiento de árboles para mitigar sus emisiones. Se estima que a junio del 2023 (fuente Bloomberg) se invertían $160,000 millones por año y se proyecta que para el 2037 aumente a $1 billón (trillions) para esta iniciativa.
- Se pueden usar los fondos federales para la reconstrucción de Puerto Rico para la reforestación.

## ORIGEN EXTERNO

### Amenazas

**¿Qué obstáculos se identificaron?**

- La variedad de suelos, climas y sistemas ecológicos de Puerto Rico en combinación con eventos extremos como los huracanes, las sequías y las inundaciones representan los retos principales de cualquier plan de reforestación.

**¿Cuáles son las condiciones económicas?**

- No se cuenta con fondos locales para reforestar.

**¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?**

- La fragmentación del gobierno dificulta la implantación de iniciativas de forestación. El reforestar y mantener un área reforestada requiere múltiples acciones para lograr los objetivos. Por ejemplo, acceso a los terrenos, permisos de poda, corte y siembra, acceso a material vegetativo, permisos de bomberos (cuando se utiliza el fuego en el mantenimiento), etc. Tales acciones requieren acciones de varias agencias gubernamentales que no necesariamente coordinan sus decisiones para favorecer a la forestación.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

- Falta de implantación eficiente de acuerdo con las leyes y regulaciones existentes. Por ejemplo, la OGPe emite permisos de corte, poda y siembra de árboles a base de certificaciones de profesionales autorizados sin experiencia en la dasonomía. En algunos casos, el proceso resulta en la deforestación o la conversión de bosques maduros a bosques secundarios sin que medie análisis alguno de la situación forestal de los lugares como sugiere la Ley 133 de 1975 o Ley de Bosques de Puerto Rico.

### ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- El huracán María causó unos 100,000 derrumbes en la cordillera central y expuso suelos previamente forestados a la erosión a causa de las lluvias extremas.
- En la ciudad, el huracán causó estragos en la vegetación y a pesar de la resiliencia de los bosques urbanos, se perdió el 40 % de la producción de alimento.
- Estudios con modelos y experimentos sugieren que los bosques tendrían menos cantidad de biomasa si la frecuencia de los huracanes aumenta, pues la pronta recurrencia no permite tiempo para la recuperación del ecosistema. Una mayor frecuencia de huracanes provocaría cambios en la composición de especies, promoviendo la dominancia de especies comunes en la sucesión temprana que toleran ambientes con alta intensidad de luz.
- Los bosques en Puerto Rico con mayor vulnerabilidad a los cambios en precipitación y humedad atmosférica son los bosques nublados, que solo se encuentran en las cimas de las montañas de la Cordillera Central y la Sierra de Luquillo.
- En los bosques de Puerto Rico, los aumentos en la temperatura pueden reducir la productividad dominante de las especies de árboles por estrés térmico.
- Incremento de frecuencia de tormenta tropical y huracanes.
- Incremento de sequía y temperaturas extremas, lo que propicia fuegos forestales.
- El aumento del nivel del mar afecta los bosques costeros que necesitan agua dulce como el pterocarpus.
- El aumento de la frecuencia de lluvias intensas puede provocar derrumbes que destruyan árboles.

**Tabla 43.**

*Matriz o análisis FODA del* **sector turismo**

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• Se cuenta con un Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Compañía de Turismo de Puerto Rico (adscrita al DDEC) y con la Ley de Política Pública para el Desarrollo Sostenible del Turismo de Puerto Rico (Ley 254 -2006).<br>• Existe un Plan de Uso Terrenos desde el 2015.<br>• La escala territorial pequeña facilita la planificación y el manejo y la gestión del destino.<br>• La zona rural y la montaña son atractivos turísticos a futuro. Allí se encuentra el Bosque Modelo y Reserva Puertorriqueña de la Biosfera.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• El Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Compañía de Turismo de Puerto Rico (2016) está bajo revisión.<br>• Experiencia con alianzas público-privadas. Por ejemplo, en la infraestructura turística de aeropuerto y puertos.<br>• Fuerte organización profesional del turismo.<br>• Desarrollo local turístico (turismo interno).<br>• Designaciones de la UNESCO y federales como lugares de interés histórico (historic landmark).<br>• Existencia de unidad e identidad cultural.<br>• Mercado abierto y directo con Estados Unidos.<br>• Capacidad tecnológica del país. |

| INTERNO | Debilidades |
|---|---|
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Cambio en el modelo turístico que incorpore medidas de adaptación y resiliencia contra las manifestaciones del cambio climático. Integre en su planificación la adaptación y resiliencia de la infraestructura turística, tanto la infraestructura gris, como la infraestructura natural.<br>• Desarrollar el turismo en la montaña para compensar una posible merma del turismo de sol y playa debido a temperaturas extremas y olas de calor.<br>• Realizar un inventario de los recursos turísticos.<br>• Definir una política pública clara y uniforme de planificación y gestión del territorio turístico que empodere a los municipios para implantarla. |

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

**¿Qué área necesita mejoras?**

- Ante el aumento de días de calores extremos y olas de calor se debe planificar nuestros destinos del interior que ofrecerán mejor confort climático. Las zonas rurales, bosques y áreas naturales protegidas se convertirán en activos de alto valor en la búsqueda de los turistas por ese confort climático y esto requiere estrategias de conservación y preservación.
- Falta de formación de funcionarios públicos en temas relacionados con el cambio climático.
- Determinar la aportación o impacto que el sector turístico puertorriqueño tiene sobre el consumo de agua, energía o lo que produce en residuos sólidos o aguas residuales.
- El sector turístico de Puerto Rico no recopila ni analiza el impacto medioambiental de su actividad en el destino ni datos sobre la atención primaria de salud a los turistas.
- Emigración de talento a Estados Unidos.

## Oportunidades

**¿Se identifican tendencias de beneficio?**

- Existe una serie de certificaciones sostenibles.
- Diversificación de destinos y desarrollo de nichos.
- Según se ha creado el nicho del turismo médico, se podría explorar la viabilidad de establecer el nicho de turismo científico dirigido a estudiar los efectos de las manifestaciones del cambio climático en el medioambiente tropical.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

**¿Qué obstáculos se identificaron?**

- Erosión en la identidad y prácticas culturales.
- Pérdida de expresiones culturales y tradicionales.
- Apertura del mercado Cuba.
- Aumento del nivel del mar.
- Aumento de frecuencia de altas temperaturas.
- Aumento de frecuencia e intensidad de sequías.
- Aumento de frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales.
- Aumento de sargazo en las playas.
- Aumento de frecuencia de playas insalubres.
- Aumento de frecuencia de episodios de polvo del Sahara.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- DMO se encuentra en una fase de promoción.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Burocracia en los procesos.
- Multiplicidad de leyes y reglamentos. Por ejemplo, las rutas turísticas.
- Desarrollo de las políticas públicas desorganizado. Por ejemplo, las políticas públicas de regionalización Turística y segmentos o nichos turísticos (médicos, náuticos, cultural y gastronómicos) del 2005 al 2015.

### ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- Los cambios en las condiciones atmosféricas como las olas de calor, lo que afectará la demanda turística y las actividades en el destino.
- Los cambios climáticos extremos que modificarán el paisaje y sus atractivos, lo cual conllevará pérdida de competitividad.
- Algunas manifestaciones del cambio climático que pueden limitar actividades acuáticas y playeras son las olas de calor, la erosión costera, la pérdida de la superficie de playa, la infiltración salina y destrucción de infraestructura turística construida en la zona costera.
- Se evidencia un sinnúmero de infraestructura natural y construida en riesgo en zonas de interés turístico. Entre estas: hospederías e infraestructura de interés turístico, sistemas de transportación marítima, terrestre y aérea, instalaciones médicas, sistema de manejo de acueductos y alcantarillados, sistema eléctrico, reservas, ecosistemas naturales y playas. Por ejemplo, de las 154 hospederías endosadas por la CTPR, 122 (79 %) ubican en las zonas expuestas al aumento en el nivel del mar asociado al cambio climático.
- El consumo de productos culturales por los turistas en Puerto Rico asciende a un 52.4 % lo que implica que nuestra oferta y atractivos turísticos se nutren de los recursos culturales como los centros históricos, la artesanía, la música y la gastronomía.
- La ausencia de opciones de transporte colectivo para el sector turístico y la tendencia al alquiler de vehículos se convierten en una carga negativa para el destino y su sostenibilidad. En la actualidad, los turistas tienen como opciones de transporte solo la renta de vehículos, taxis y Uber.
- Aumento en la mortandad de los arrecifes de coral.
- Desaparición de playas por erosión.
- Destrucción del 79 % de la infraestructura hotelera.
- Exposición del aeropuerto internacional Luis Muñoz Marín y de aeropuertos regionales al aumento del nivel del mar.
- Pérdida de muelles de crucero.
- Playas afectadas por sargazo.

**Tabla 44.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector educación***

| ORIGEN INTERNO | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• La Ley de Política Pública Ambiental encomienda a las agencias de gobierno crear departamentos y divisiones dedicadas a la educación ambiental y brindar información a la comunidad.<br>• Existen más de 46 organizaciones sin fines de lucro, fundaciones comunitarias y entidades dedicadas a proteger la naturaleza y adelantar la salud ambiental. Estas organizaciones representan una diversidad de generaciones y agrupan a más de 522,205 ciudadanos interesados en el bienestar ambiental y humano de Puerto Rico.<br>• El país cuenta con profesores, científicos, líderes ambientales con vasta experiencia en la conservación de los recursos naturales y en temas de cambio climático que son parte esencial del proceso de enseñanza, investigación, desarrollo de proyectos, leyes y política pública.<br>• La Ley 33-2019 establece medidas del sector sobre cambio climático.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• Desde la década de 1980, la UPR - Río Piedras creó el Departamento de Ciencias<br>• Ambientales con el propósito de fomentar las carreras interdisciplinarias a nivel ambiental y desarrollar a profesionales aptos para el campo laboral y promover la investigación y la educación en ciencias ambientales.<br>• En el 2001, se creó el primer programa de televisión Geoambiente, dedicado a la conservación ambiental y a la discusión de los problemas ambientales del país.<br>• En el 2002, la Universidad Metropolitana del Sistema Universitario Ana G. Méndez creó el Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible.<br>• En el 2005, la UPR - Carolina, la Universidad Complutense de Madrid y *NASA Space Grant Consortium* presentaron el primer curso de verano titulado Gases de efecto invernadero y cambio climático. En este curso participaron científicos de diferentes países con el propósito de proveer recomendaciones para crear conciencia en el gobierno y en la población sobre los efectos del cambio climático.<br>• Los términos “cambio climático”, “calentamiento global”, o “aumento del nivel del mar” se incorporaron como parte de la revisión y aprobación de los nuevos planes de mitigación contra peligros naturales de los 78 municipios, de los cuales 62 fueron aprobados por FEMA y por la Junta de Planificación.<br>• En una revisión curricular para todas las materias se integró el tema transversal de Conciencia Ecológica para abordar temas de cambio climático en cada curso de k a 12. |

ORIGEN INTERNO

## Debilidades

### ¿Qué falta por integrar?

- Los eventos atmosféricos deben ser parte de la educación ambiental con énfasis en salvar vida y propiedad.
- No se han incorporado temas relacionados con el cambio climático. A pesar de que se ha evaluado la vulnerabilidad socioecológica debido al cambio climático, la educación al respecto no es suficiente.
- El informe *Puerto Rico's Blueprint for Climate Change Mitigation and Adaptation* establece como un pilar y punto de referencia que es meritorio implementar un currículo escolar en temas de mitigación, adaptación y resiliencia al cambio climático.
- Incluir en el currículo un curso de educación ambiental y cambio climático en el programa de preparación de maestros de ciencias en las universidades.
- La inclusión de letreros en áreas públicas que orienten a las personas sobre la importancia del consumo responsable de agua, manejo de residuos sólidos y el ahorro de energía.
- Establecer acciones a corto y largo plazo que permitan atender experiencias educativas en la mitigación y adaptación al cambio climático alcance de información a los diversos sectores de Puerto Rico.

### ¿Qué área necesita mejoras?

- Se necesita educar a la población y a los líderes sobre la vulnerabilidad de las comunidades costeras al aumento del nivel del mar, los efectos del fenómeno isla de calor, los extremos de sequías y precipitación, y la erosión costera, entre muchos otros efectos del cambio climático.
- Según estudios, el 82.69 % de la población entiende que educar a la población sobre los efectos del cambio climático debe ser una prioridad del gobierno. Por ende, se debe mejorar la educación en estas consecuencias.
- Los hallazgos evidencian una problemática en cuanto al manejo de la información, divulgación y material educativo que en muchas ocasiones no se comparte entre las agencias para evitar duplicidad de trabajos y recursos.
- Los ciudadanos no saben cómo prepararse ante los posibles efectos del cambio climático y piensan que las acciones que se requieren para atender los problemas que puedan surgir están fuera de su control.
- La ciudadanía no percibe los riesgos y efectos del cambio climático de manera inmediata.
- La preparación de los maestros requiere mayor capacitación en el tema de cambio climático y proveerles material educativo que puedan utilizar en el salón de clase ya que no tienen libros dirigidos a estos temas.

ORIGEN EXTERNO

## Oportunidades

### ¿Se identifican tendencias de beneficio?

- Un estudio titulado *Perceptions of Climate Change in Puerto Rico before and after Hurricane María* (2021) mostró que la cantidad de personas con conocimiento general sobre el cambio climático global aumentó de 43 % a 62 % luego del huracán María. El 81.62 % de los participantes manifestaron interés en participar en actividades para combatir el cambio climático. Esto es cónsono con que el gobierno y las organizaciones ambientales deben ser más activos en las campañas educativas.
- Un estudio en el área metropolitana de San Juan reveló que los medios de comunicación tradicionales y emergentes son los preferidos por la población para informarse sobre el cambio climático y los riesgos asociados: televisión (58.6 %) y redes sociales (45.5 %).
- En el 2020, el DRNA firmó una alianza con el DE para impulsar proyectos y actividades de mitigación ante el cambio climático, reforzando la educación ambiental en las escuelas públicas. Este acuerdo incluye proyectos y actividades de resiliencia relacionadas con el cambio climático. El proyecto será impulsado por los comités constituidos en cada una de las siete regiones educativas, grupos que incluyen a facilitadores docentes, un maestro de Estudios Sociales, representantes de alguna entidad externa al DE y algún miembro gerencial de la oficina regional educativa; en algunos casos, habrá representación estudiantil.
- Los planes de mitigación de los municipios incluyen el término de calentamiento global y cambio climático integrando actividades que los municipios deben considerar para realizar en las comunidades.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

### ¿Qué obstáculos se identificaron?

- Un estudio indicó que en Puerto Rico se ha realizado solo una publicación sobre la educación para la mitigación y adaptación al cambio climático, lo cual representa el 2.8 % en divulgación científica. Esto representa una carencia de investigaciones científicas que evidencia la dificultad de transmitir el conocimiento sobre el cambio climático.
- Mayor deserción escolar, lo cual puede resultar negativo para educar de forma continua a las nuevas generaciones con los currículos que se desarrollen por sus niveles correspondientes.

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Es importante unir esfuerzos para redirigir los fondos a la capacitación de los maestros, adquisición de materiales educativos, libros y el desarrollo de proyectos escolares que promuevan el aprendizaje en el tema de cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Poca comunicación entre las agencias, donde hay duplicidad de trabajo.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | **¿Qué áreas permanecen vulnerables?**<br>• Las medidas de educación, divulgación y acción a nivel comunitario deben proveerse prioritariamente en comunidades costeras y de mayor vulnerabilidad a la pérdida de la costa y a inundaciones.<br>• Los resultados de un estudio presentan que solo el 39.2 % de los maestros utilizan siempre el material del DE para enseñar el tema de cambio climático.<br>• Estudios afirman que todas las administraciones gubernamentales han ignorado estos análisis sobre el cambio climático, vitales para elaborar un plan de adaptación que permita construir un país más resiliente y sostenible.<br>• Población no escolar ni universitaria que carece de una base educativa.<br>• Consecuencias del cambio climático como la interrupción de las clases debido a huracanes, sequías e inundaciones.<br>• Efectos del polvo del Sahara y de las temperaturas extremas en las actividades deportivas y otras actividades al aire libre. |

**Tabla 45.**

*Matriz o análisis FODA del* ***sector justicia climática***

| ORIGEN | Fortalezas |
|---|---|
| | **¿Cuáles son las ventajas?**<br>• Hay entidades no gubernamentales promoviendo el concepto de justicia climática.<br>**¿Qué se está haciendo bien?**<br>• El CEACC ha incluido la atención al tema en el P-MARCC.<br>• Existe un sistema de asistencia económica para nutrición.<br>• Existe un sistema de refugios de emergencias a nivel municipal y estatal.<br>• Fondos de FEMA disponibles para la reparación de daños. |
| **INTERNO** | **Debilidades** |
| | **¿Qué falta por integrar?**<br>• Insertar la justicia climática en el marco legal y político en Puerto Rico para promover un desarrollo que respete siempre los derechos humanos.<br>• Mejorar la atención de las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. |

**INTERNO**

## Debilidades

**¿Qué área necesita mejoras?**

- La asignación de recursos debe seguir la "aplicación diligente". Entidades del sector no gubernamental han argumentado que los residentes de Puerto Rico han soportado episodios en serie de mala gestión del gobierno y que aprovechar los fondos federales requiere competencia del gobierno estatal y local.
- Comunidades carecen de conocimiento para preparar propuestas de fondos federales y, a veces, de personalidad jurídica para poder recibir los fondos.

**ORIGEN EXTERNO**

## Oportunidades

**¿Se identifican tendencias de beneficio?**

- Luego del huracán María se destinaron fondos para atender el desastre. Como una de las respuestas, muchas organizaciones sin fines de lucro, de base comunitaria, religiosa y la academia, entre otras, han realizado diversas iniciativas para conocer los derechos y exigir justicia climática a los entes gubernamentales, las empresas privadas y otros sectores como parte de los procesos de adjudicación de fondos.
- Existen fondos federales para la aclimatación de hogares por debajo del nivel de pobreza de los Estados Unidos.
- Hay fondos federales para la instalación de placas solares y baterías en hogares de personas o familias por debajo del nivel de pobreza de los Estados Unidos.
- El programa de WaterSense de la EPA permite utilizar menos agua sin afectar la calidad de vida.
- Aprovechamiento del agua de lluvia.

**ORIGEN EXTERNO**

## Amenazas

**¿Qué obstáculos se identificaron?**

- En su IV Informe, publicado en septiembre del 2022, Ayuda Legal Puerto Rico señala como una amenaza principal a las familias sobrevivientes del huracán María "el desplazamiento por diseño". Plantea que el impacto en estas familias "es de múltiples niveles: la imposibilidad de obtener un techo seguro, el enfrentamiento con un mercado de vivienda predatorio y no regulado y las relocalizaciones carentes de participación o planificación efectiva". Según la entidad, sin acción inmediata, la falta de vivienda segura y asequible aumenta el riesgo de la población a la hora de enfrentar futuros desastres o el cambio climático con un nivel mayor de desigualdad.
- La tasa del incremento del nivel de mar ha aumentado, lo que acelerará los efectos adversos sobre comunidades costeras.
- Aumentará la frecuencia de días con temperaturas extremas.
- Aumentarán los días con episodios de polvo del Sahara.

ORIGEN EXTERNO

## Amenazas

- Aumentará la frecuencia e intensidad de los huracanes.
- Mermará la disponibilidad del agua, lo que afectará a las comunidades aisladas que obtienen agua de sus propios acueductos.
- El aumento de lluvias intensas incrementará las inundaciones en las comunidades.
- El aumento del nivel del mar provocará el desborde de los pozos sépticos en las comunidades ubicadas cerca del mar.
- Las lluvias intensas incrementarán el número de días en que las playas no sean aptas para el contacto humano (opción de recreación gratuita para comunidades de menos recursos económicos).

### ¿Cuáles son las condiciones económicas?

- Puerto Rico depende en gran medida de los combustibles fósiles. La electricidad de Puerto Rico cuesta más del triple del promedio nacional de los Estados Unidos y su generación basada en la quema de combustibles fósiles es peligrosa, pues empeora las enfermedades como el asma, de alta incidencia en la isla.
- Las comunidades vulnerables a los efectos de cambio climático y de bajos ingresos enfrentan retos económicos para la adaptación, mitigación y resiliencia ante el cambio climático.
- El estudio titulado Children, Climate Justice, and Lessons From Puerto Rico comenta que es probable que comunidades hayan recibido menos inversión en infraestructura de protección e identifica específicamente a las zonas rurales del oeste y sur de Puerto Rico y las islas municipios de Vieques y Culebra.
- Debido a la inflación y los problemas de la cadena de suministro, hoy en día una unidad de vivienda de interés social cuesta más de $200,000.

### ¿Cómo afectan las regulaciones del gobierno?

- Debido a las regulaciones de gobierno si no hay título de propiedad no hay incentivos de fondos de reparación para las familiares que han sido perjudicadas por desastres relacionados con el cambio climático como, por ejemplo, huracanes.
- Las personas que residen en una zona inundable reciben asistencia económica solo por un evento. La falta de propiedades asequibles dificulta cumplir con los criterios de cualificación.

### ¿Qué áreas permanecen vulnerables?

- El Índice de Riesgo Climático Global (IRC) de Germanwatch del 2021 considera a Puerto Rico entre los más afectados por eventos climáticos extremos entre el período del 2000 al 2019. Se atribuye a las secuelas del acontecimiento excepcional devastador que fue el huracán María en el 2017.

| ORIGEN EXTERNO | Amenazas |
|---|---|
| | • Todavía en el 2023, las poblaciones empobrecidas vivían de cerca la devastación social y económica que dejó el huracán María. De 3.4 millones de personas en Puerto Rico en el 2017, los estimados de población para el 2021, según el censo de Estados Unidos, cerraron en 3,263 millones. Es importante destacar que a partir de la descripción del perfil demográfico gran parte de la población que se queda en la isla para este período luce ser más vulnerable. De un 18 % de la población con 65 años o más en el 2017, el promedio ascendió a 21.3 %. en el 2021.<br>• El estudio Children, Climate Justice, and Lessons From Puerto Rico califica como una injusticia que los niños, especialmente los que viven en comunidades de menores recursos económicos, ya soportan la mayor parte de los daños causados por los huracanes, las sequías, los incendios forestales y las olas de calor que las emisiones de GEI agudizan, sin que puedan ejercer control sobre las fuentes de emisiones. El estudio afirma que la niñez necesita acceso a agua potable, aire limpio y alimentos nutritivos para mantenerse saludables. Señala que luego de los huracanes María (2017) y Fiona (2022), muchos perdieron esos accesos a la energía y al agua potable.<br>• Añade que, después del huracán María, muchas familias se convirtieron en migrantes climáticos. Indica: “La migración separó a los niños de sus familias extendidas y transgredió una base de la cultura puertorriqueña. También, preparó el escenario para eventos adversos en la infancia, que pueden aumentar los riesgos de cargas de enfermedades importantes en la edad adulta”.<br>• Además, la investigación cita datos de la EPA que señalan que en Puerto Rico hay 250 sitios bajo el programa Superfund activos. De estos, 19 están en la “lista de prioridades nacionales” de la agencia, que incluye sitios con mayor probabilidad de liberar compuestos tóxicos. Esto significa que cuando los huracanes impactan a Puerto Rico es más probable que liberen compuestos tóxicos hacia las comunidades vecinas. |

# Impactos y tensiones en los sectores.

A partir del análisis FODA se identificaron y delinearon 14 impactos[664] y 32 tensiones[665] principales que afectan a todos los sectores. Estos están asociados a los siguientes temas:

## Impactos

1. Brotes de enfermedades.
2. Incendios forestales.
3. Aumento de ocurrencia y magnitud de sistemas ciclónicos tropicales.
4. Aumento de enfermedades crónicas (asma, diabetes y enfermedades respiratorias).
5. Olas de calor extremas.
6. Inundaciones ribereñas y costeras.
7. Infraestructuras afectadas por vientos e inundaciones.
8. Desforestación masiva luego de un sistema ciclónico tropical.
9. Sequía extrema.
10. Protestas y demandas por justicia climática.
11. Fallo en los sistemas de salud cuando ocurren huracanes o eventos climáticos.
12. Aumento de muertes de personas cuando ocurren huracanes o eventos climáticos.
13. Inflación.
14. Blanqueamiento de los arrecifes de coral.

[664] En el P-MARCC se consideran como impactos los desastres que ocurren una sola vez o repentinamente. Pueden ser naturales (incendios, huracanes, inundaciones por crecida de ríos y precipitaciones excesivas, fallo en la infraestructura hídrica, tormentas con vientos fuertes, deslizamientos de tierra y brotes de enfermedad o virus, entre otros) o sociales (protesta civil, entre otros).

[665] En el P-MARCC se consideran como tensiones factores que generan presión a una comunidad, ciudad o país periódicamente y debilitan la estructura de una comunidad, ciudad o país diariamente o de forma cíclica, como la escasez de alimentos, las sequías, un sistema de transporte deficiente, infraestructura, la violencia endémica, pobreza marcada y desigualdad social, gestión integral deficiente de los residuos, localización de familias en zonas inundables, falta de viviendas asequibles, alta tasa de desempleo, infraestructura de servicios deficiente e inflación, entre otros.

## Tensiones

1. Necesidad de aumentar el empoderamiento a las comunidades para atender las necesidades básicas ante cualquier desastre asociado al cambio climático.
2. Manejo de residuos sólidos. La generación de residuos sobrepasa las 5 libras por persona por día, lo cual sobrepasa la tasa de generación de residuos en los países industrializados de Europa.
3. Deficiencia en la infraestructura del servicio de energía y alumbrado público.
4. Localización de familias en zonas inundables y zonas de deslizamientos.
5. En estos momentos no existen fondos suficientes disponibles para implantar cursos de acción para proteger vida y propiedad ante el cambio climático ni personal municipal o estatal con la capacidad técnica y financiera para hacer frente a los daños y las pérdidas asociadas al cambio climático.
6. Deficiencia en la infraestructura y vulnerabilidad a los eventos extremos de los sistemas: vial, marítimo y aéreo (el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín y otros aeropuertos son vulnerables al aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica).
7. Polvo del Sahara.
8. Alcance de la marejada ciclónica y aumento de marejadas.
9. Sequía.
10. Falta de reubicación planificada de comunidades vulnerables a los efectos del cambio climático y escasos recursos para vivienda digna.
11. El 45 % de la población de Puerto Rico vive bajo el nivel de pobreza establecido a nivel federal.
12. Deterioro progresivo de los sistemas costeros y zonas marinas por mala planificación y desparrame urbano.
13. Pérdida del 60 % del agua (no contabilizada), sedimentación de los embalses y acuíferos en estado crítico.
14. El 60 % del agua para riego agrícola se pierde en los canales de riego de la AEE.
15. Falta de agilidad en los procesos en las entidades responsables.
16. Deterioro progresivo de los sistemas costeros y las zonas marinas por mala planificación y desparrame urbano.
17. Crisis económica.

18. Proliferación de sargazo en ciertas temporadas del año.
19. Falta de vigilancia y comunicación entre sectores.
20. Poca redundancia en la infraestructura de agua potable y alcantarillado.
21. Falta de capacidad de generación de electricidad.
22. Servicio poco confiable de electricidad para suplir la demanda adicional relacionada con los eventos de temperaturas extremas.
23. Servicio poco confiable de suministro de agua. Puerto Rico es la segunda jurisdicción en América Latina con menos disponibilidad de agua dulce por persona, según el Banco Mundial.
24. Todas las plantas de generación de electricidad son vulnerables al aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica.
25. 200,000 viviendas de Puerto Rico están ubicadas en zonas inundables.
26. En Puerto Rico prolifera la construcción informal.
27. Puerto Rico depende desmedidamente del automóvil para la transportación.
28. Puerto Rico emite tres veces más GEI per cápita que el promedio de América Latina y el Caribe.
29. Puerto Rico protege ecológicamente solo el 17 % de su territorio.
30. El 70 % de la capacidad de tratamiento del agua usada de la AAA está en áreas vulnerables al aumento del nivel del mar y a las marejadas ciclónicas.
31. El 79 % de la infraestructura de Puerto Rico están localizadas en áreas vulnerables al aumento del nivel del mar y a las marejadas ciclónicas.
32. Falta capacidad para solicitar los fondos disponibles relacionados con el cambio climático.
33. Contaminación de las playas.

**Autorizado por la Oficina del Contralor Electoral OCE-SA-2024-06151**

# Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico

Tomo 2

CLIMÁTICO PUERTO RICO
Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático









# Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico

Tomo 2


Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC)

Gobierno de Puerto Rico



Versión revisada. Abril de 2024




La elaboración de este documento fue subvencionada
por fondos del cambio climático del gobierno de Puerto Rico

Cite este plan de la siguiente manera:

Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC) (2024). *Borrador del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico*. CEACC - Gobierno de Puerto Rico.

# TABLA DE CONTENIDO


LISTA DE SIGLAS ..... 293

CAPÍTULO 6.
Cursos de acción (COA) para la mitigación de fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto invernadero ..... 295

CAPÍTULO 7.
Cursos de acción (COA) para la adaptación y resiliencia ante el cambio climático por sectores ..... 331

7.1. Energía ..... 333
7.2. Infraestructuras ..... 349
7.3. Transportes y movilidad ..... 395
7.4. Residuos sólidos ..... 413
7.5. Salud y bienestar ..... 433
7.6. Agricultura y ganadería ..... 455
7.7. Agua ..... 483
7.8. Ecosistemas marinos y zonas costeras ..... 517
7.9. Forestación y ecosistemas terrestres ..... 567
7.10. Turismo ..... 587
7.11. Educación ..... 617
7.12. Justicia climática ..... 651

CAPÍTULO 8.
Adopción del plan ..... 657

Implantación, monitoreo, evaluación y actualización del plan ..... 657
Asignación de fondos para el CEACC ..... 657
Supremacía ..... 657
Vigencia ..... 657

**CAPÍTULO 9.**
**Recomendaciones y conclusiones** ..... 659

Recomendaciones ..... 659
Propuestas de enmiendas a la Ley 33-2019 ..... 659
Otras recomendaciones ..... 660
Conclusiones ..... 662

**ANEJOS**

Anejo 1. Definiciones ..... 667

Anejo 2. Descripción de procesos y actividades de participación pública llevadas a cabo ..... 671

Anejo 3. Guía para la revisión curricular e integración de temas desde k-12 para escuelas públicas y privadas ..... 683

Anejo 4. Perfil de acciones sostenibles ..... 685

Anejo 5. Guía de reforestación para Puerto Rico ..... 687
Apéndice 1 ..... 695
Apéndice 2 ..... 697
Apéndice 3 ..... 698
Apéndice 4 ..... 700
Apéndice 5 ..... 701
Apéndice 6 ..... 702
Apéndice 7 ..... 703

Anejo 6. Informe de la vulnerabilidad turística de Puerto Rico ..... 705

Créditos ..... 719

# LISTA DE SIGLAS

| | |
|---|---|
| AAA | Autoridad de Acueductos y Alcantarillados |
| AAPP | Autoridad de Alianzas Público-Privadas |
| ACT | Autoridad de Carreteras y Transportación |
| AEE | Autoridad de Energía Eléctrica |
| AEP | Autoridad de Edificios Públicos |
| AFI | Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura |
| AMA | Autoridad Metropolitana de Autobuses |
| AP | Autoridad de los Puertos |
| ARPA | Ley del Plan de Rescate Estadounidense |
| ASG | Administración de Servicios Generales |
| ASSMCA | Administración de Servicios de Salud Mental y contra la Adicción |
| ATI | Autoridad de Transporte Integrado |
| BDE | Banco de Desarrollo Económico |
| CARICOOS | Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica |
| CDC | Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades |
| CEACC | Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático |
| CFMC | *Caribbean Fishery Management Council* |
| CIF | Comisionado de Instituciones Financieras |
| CoRePI | Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico |
| CSP | Comisión de Servicio Público |
| CTPR | Compañía de Turismo de Puerto Rico |
| DA | Departamento de Agricultura |
| DACO | Departamento de Asuntos del Consumidor |
| DDEC | Departamento de Desarrollo Económico y Comercio |
| DE | Departamento de Educación |
| DH | Departamento de Hacienda |
| DHS | Departamento federal de Seguridad Nacional |
| DRNA | Departamento de Recursos Naturales y Ambientales |
| DS | Departamento de Salud |
| DTOP | Departamento de Transportación y Obras Públicas |
| DV | Departamento de la Vivienda |
| EDA | Administración federal de Desarrollo Económico |
| EPA | Agencia federal de Protección Ambiental |
| FAA | Administración Federal de Aviación |
| FCC | Comisión Federal de Comunicaciones |
| FEMA | Agencia Federal para el Manejo de Emergencias |
| FHA | Administración Federal de Vivienda |
| FTA | Administración Federal de Transporte |
| GDP | Producto Interno Bruto |
| GEI | Gases de efecto de invernadero |
| GPR | Gobierno de Puerto Rico |
| GPS | Sistema de Posicionamiento Global |
| HMGP | Programa de Asistencia para la Mitigación de Riesgos (de FEMA) |
| HUD | Departamento federal de Vivienda y Desarrollo Urbano |
| IEPR | Instituto de Estadísticas de Puerto Rico |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático |
| IRA | Ley federal de Reducción de la Inflación |
| IVU | Impuesto sobre Ventas y Uso |
| JP | Junta de Planificación |
| MARAD | Administración federal Marítima |
| NASA | Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio |
| NBS | Soluciones basadas en la naturaleza |
| NEPR | Negociado de Energía de Puerto Rico |
| NMEAD | Negociado para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres |
| NOAA | Administración Nacional Oceánica y Atmosférica |
| ODS | Objetivos de Desarrollo Sostenible |
| ODSEC | Oficina para el Desarrollo Socioeconómico y Comunitario |
| OGPe | Oficina de Gerencia de Permisos |
| OMEP | Oficina para el Mejoramiento de Escuelas Públicas |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| PAN | Programa de Asistencia Nutricional |
| PMZC | Programa de Manejo de la Zona Costanera (del DRNA) |
| PPA | *Power Purchase Agreement* (Acuerdo de compra de energía) |
| PPPE | Programa de Política Pública Energética (del DDEC) |
| PRCCC | Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico |
| PRITS | Servicio de Innovación y Tecnología de Puerto Rico |
| USACE | Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos |
| USDA | Departamento federal de Agricultura |
| USDE | Departamento federal de Educación |
| USDOE | Departamento federal de Energía |
| USDOT | Departamento federal de Transportación |
| USGS | Servicio Geológico federal |
| VPP | Plantas de energía virtuales |
| WIPR | Corporación de Puerto Rico para la Difusión Pública |

CAPÍTULO 6

# Cursos de acción (COA) para la mitigación de fuentes *antropogénicas* de emisiones de gases de efecto invernadero

En este capítulo se identifican los COA desarrollados a partir del diagnóstico de la situación de las fuentes antropogénicas de emisiones de **gases de efecto de invernadero (GEI)**. Se toman como base los objetivos iniciales de reducción dispuestos en el artículo 5 de la Ley 33-2019. También se tomaron en cuenta los comentarios y recomendaciones surgidos del peritaje del CEACC y del DRNA, así como las recomendaciones recibidas durante un proceso de vistas públicas.

En este capítulo se enumeran los COA para reducir las emisiones de GEI y los componentes que ayudarán a viabilizar su implantación: **objetivos**, **estrategias**, **entidad responsable**, **costo estimado**, **fuente potencial de financiamiento**, **período aproximado** y **resultado y métricas**.

Para cumplir la meta del P-MARCC de lograr un nivel base de reducción de emisiones de GEI, los COA deberán tener medidas encaminadas a propiciar la reducción de las emisiones de GEI en 50 % en un período de cinco años. Por tal motivo, la base desde la cual se identifican las estrategias es el análisis de los capítulos anteriores y del capítulo 7.

En el desarrollo de las estrategias de los COA se han tomado en cuenta diferentes planes agenciales, privados y de organizaciones sin fines de lucro, entre otros, así como aspectos organizacionales, reglamentarios, fiscales y legales que favorecen o limitan la implantación. También se realizó un análisis de las experiencias o mejores prácticas en Puerto Rico, Estados Unidos y otros países referentes al tema. Esto permitió seleccionar aquellas estrategias para cada COA que pueden implantarse en Puerto Rico para alcanzar los objetivos y la política pública dispuesta por la Ley 33-2019. Las estrategias se presentan en forma tabular, de manera que se facilite su identificación y seguimiento. Además, se crean nuevas guías siguiendo la estructura de las guías por sectores incluidas en el artículo 9 de la Ley 33-2019.

Las estrategias y medidas de implantación incluidas conllevarán procesos de participación ciudadana y otras iniciativas externas, como acuerdos interagenciales con entidades de los gobiernos estatal y federal, instituciones educativas y acuerdos de colaboración con la empresa privada. Los fondos para implantar las estrategias podrán provenir de fuentes federales, estatales, municipales y privadas. La implantación de estos cursos de acción deberá priorizar en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas, tomando en cuenta las particularidades de las diversas comunidades de Puerto Rico y reconociendo que las manifestaciones y los efectos del cambio climático varían a través de todo el archipiélago.

A continuación, se explican los componentes de la tabla:

- Guías creadas a partir del análisis de los capítulos anteriores, el capítulo 7 y el *Informe del Inventario de Gases de Efecto de Invernadero para Puerto Rico 2019 y 2021*, publicado en junio de 2023.
- COA basados en la política establecida en la Ley 33-2019 y sus objetivos iniciales de reducción establecidos en el artículo 5 en los sectores donde sean aplicables, diagnósticos, el capítulo 7 y el análisis FODA.
- Mejores prácticas (si aplica), basadas en el análisis de experiencias exitosas que validan la viabilidad de implantación de los COA. Se incluyen solo las referencias.
- Objetivos, basados en los COA.
- Estrategias específicas de reducción de emisiones de GEI para Puerto Rico. En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar a los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.
- Entidad responsable de implantar las estrategias propuestas.
- Costo estimado para ejecutar la estrategia. Las estrategias necesitan costos estimados. Será la entidad responsable de ejecutar la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y estrategias en las tablas trazadas. En las estrategias para las cuales no se determine el costo, la entidad responsable será la que proveerá un costo estimado tomando en consideración experiencias previas en y fuera de Puerto Rico, durante la fase previa de implantación de la estrategia.
- Fuente potencial de financiamiento: se recomiendan los fondos como un mecanismo de financiamiento para el P-MARCC, ya que no tiene requisitos de repago y reduce las barreras para el desarrollo de proyectos. Los fondos podrán ser provistos por agencias federales y algunas agencias estatales, para proyectos que cumplan con los objetivos específicos del programa que los provee. Las entidades que pueden ofrecer el mecanismo varían, destacándose: gobierno municipal, gobierno estatal, gobierno federal e instituciones sin fines de lucro, entre otros. Todos los años surgen oportunidades para recibir fondos que permitan desarrollar programas y estrategias a fin de promover la mitigación del cambio climático. La Ley 33-2019 define mitigación como las medidas e iniciativas que permitan limitar y reducir las fuentes antropogénicas de emisiones de GEI y mejorar nuestros sumideros de carbono naturales. En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad

que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

- Período aproximado de programación del desarrollo de las estrategias propuestas:

    - **corto plazo - 0 a 3 años,**
    - **mediano plazo - 4 a 6 años,**
    - **largo plazo - 7 años o más.**

- Resultado esperado para el cumplimiento de la meta del P-MARCC y métricas para evaluar los avances.

Se exhorta a los municipios y otras entidades públicas a alinear sus documentos de normativas y política pública (planes, reglamentos, ordenanzas, entre otros) con el P-MARCC.

Tabla 6.1. Cursos de acción (COA) para la mitigación de fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto invernadero.

## A. Reducir los niveles de las emisiones de gases de efecto de invernadero de forma real, permanente, cuantificable, verificable en un 50 % en los próximos cinco años.

**COA A.1: Reducir el consumo general de energía al menos 1 % anualmente, comenzando en el año 2024, hasta alcanzar para 2034 una reducción de 10 % a base de la densidad poblacional.[1]**

**Mejores prácticas:**

- S. Subramanian *et al.,* (2022). *2022 State Energy Efficiency Scorecard. American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE). https://www.aceee.org/sites/default/files/pdfs/u2206.pdf ; tabla 13.
- State of New Jersey (2022). *In the Matter of the Clean Energy Programs and Budget for Fiscal Year 2022 – True-Up, Revised Budgets and Program Changes*. https://njcleanenergy.com/files/file/BPU/2022/8A%20ORDER%20FY%202022%20True%20Up%20Budget.pdf
- *Energy Efficiency 101, Resources for the Future.* https://www.rff.org/publications/explainers/energy-efficiency-101/
- HECO (2016). *Power Supply Improvement Plan*. https://www.hawaiianelectric.com/Documents/about_us/our_vision/psip_executive_summary_20161223.pdf
- *Eversource Energy et al.,* (2022, 1 de marzo). *2022-2024 Conservation & Load Management Plan*. https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/energy/ConserLoadMgmt/Final-2022-2024-Plan-to-EEB-1112021.pdf
- *Electric Power Research Institute* (2010). *Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs for the Tennessee Valley Authority*. https://www.epri.com/research/products/000000000001020871
- *Programa Energy Star de la EPA: Energy Star, 2019 Status Update,* EPA. https://www.epa.gov/vcs/energy-star

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[2] | Costo estimado[3] | Fuente potencial de financiamiento[4] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de **gases de efecto de invernadero (GEI)** en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **1.** Desarrollar un plan de eficiencia y conservación energética para todas las instalaciones públicas a fin de reducir el consumo de energía 1 % anualmente por 10 años. | DRNA y NEPR | No aplica | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Reducción de la demanda de electricidad en 39 % para 2028 y reducción de 10 % del consumo de energía para 2034.<br>**M:** 1 % de reducción anual del consumo energético. |

[1] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1) y de infraestructura (sección 7.2). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en los sectores mencionados, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[2] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[3] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[4] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **2.** Requerir que la Autoridad de Energía Eléctrica (y las empresas que operan el sistema) logren ahorros de energía anuales de 1 % de generación anual para 2025; 2 % para 2030, y 3 % para 2040 con programas de incentivos para la eficiencia energética dirigidos a los clientes. Esto requiere que la Autoridad de Energía Eléctrica evalúe su Plan Integral de Recursos (PIR) a fin de garantizar que se atempera a lo establecido en la Ley 33-2019. De ser necesario atemperarlo, debe trabajarse con las partes interesadas (*stakeholders*). | NEPR, AEE/ *LUMA Energy* (LUMA), DH y DDEC<br><br>LUMA es la entidad responsable del PIR y su revisión | $500,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Plan de eficiencia y conservación energética detallado.<br><br>**M:** Reducción de 39 % de las emisiones de GEI en el sector energético para 2028 y de 10 % de consumo de energía para 2030. |
| | **3.** Requerir a las agencias a cargo de edificios y otras instalaciones públicas que planifiquen y realicen actualizaciones (*upgrades*) y rehabilitaciones (*retrofits*) inmediatas y a gran escala para generar ahorros de energía. | Autoridad de Edificios Públicos, Oficina para el Mejoramiento de Escuelas Públicas (OMEP), AFI y corporaciones públicas | Costo nivelado de ahorros: $0.26 por kWh de ahorros[5] | Ley federal para la reducción de la inflación (IRA) de 2022, secciones 60502 y 60503 | Mediano plazo | **R:** Edificios y otras instalaciones públicas a la vanguardia en ahorro de energía.<br><br>**M:** Reducción de 10 % del consumo de energía de edificios y otras instalaciones públicas para 2030. |

[5] P. Knight *et al.,* (2022). *The cost of energy efficiency programs: Estimates from utility-reported datasets. Energy*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221026979; C. Cohn (2021). *The Cost of Saving Electricity for the Largest U.S. Utilities: Ratepayer-Funded Efficiency Programs in 2018*. ACEEE. https://www.aceee.org/topic-brief/2021/06/cost-saving-electricity-largest-us-utilities-ratepayer-funded-efficiency.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **4.** Requerir en toda nueva vivienda el uso de enseres electrodomésticos con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. Este programa ayudará a reducir el consumo de energía de estos equipos en ±20 %. | OGPe | Nominal | DV | Corto plazo | **R:** Reducción en el consumo de energía a nivel residencial por el uso de aparatos y equipos eficientes.<br>**R:** Aumento de viviendas con los equipos del programa.<br>**M:** Porcentaje de aumento en ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. Porcentaje de reducción del consumo de energía en viviendas bajo el programa, mayor o igual que 10 % anual.<br>**M:** Porcentaje del aumento de viviendas con los equipos del programa siempre mayor o igual a 10 % anual en nuevas viviendas. |
| | **5.** Fomentar e incentivar en viviendas existentes el remplazo de aparatos y equipos eléctricos por unos con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. | AEE/LUMA | $100,000 (programa de educación a consumidores) | | | |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **6.** Requerir en nuevos edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas e industrias el uso de equipos eléctricos con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. | OGPe | Nominal | EPA | Corto plazo | **R:** Requerimiento adoptado por cada entidad responsable y evidencia de la reducción en el consumo de energía en edificios.<br>**M:** Porcentaje del aumento en las ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. |
| | **7.** Fomentar e incentivar el remplazo de aparatos y equipos eléctricos existentes por unos de bajo consumo de energía con la rúbrica *Energy Star* en edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas e industrias. | PPPE | | | | |
| | **8.** Eximir del pago del IVU los sistemas de acondicionamiento de aire de alta eficiencia con valores de *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (SEER) mayores o iguales que 25 en todos los edificios y viviendas. | Departamento de Hacienda | | | | **R:** Exención del IVU a los sistemas de acondicionamiento de aire de alta eficiencia con valores de SEER mayores o iguales que 25 en todos los edificios y viviendas. (Aplica a la estrategia número 5.)<br>**M:** Porcentaje del aumento en las ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. |
| | **9.** Requerir en toda nueva vivienda el uso de lámparas LED en el rango de 2,500 K° a 3,000 K°. | OGPe | | | | **R:** Requerimiento adoptado por cada entidad responsable y evidencia de la reducción en el consumo de energía en las viviendas nuevas.<br>**M:** Porcentaje del aumento en las ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **10.** Establecer un requisito de divulgación de información sobre la eficiencia energética de los edificios que superen una superficie mínima. | Negociado de Energía y OGPe | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Requerimiento de divulgación de cumplimiento energético de edificios.<br>**M:** Porcentajes de variación anual de proveedores de información. |
| | **11.** Establecer programas piloto de eficiencia energética que incentiven la modernización y establezcan objetivos alcanzables. | NEPR y PPPE | Costo nivelado de ahorros: $0.26 por kWh de ahorros[6] | IRA, sección 50121, PR GET, Fondo de Resiliencia Energética de Puerto Rico. | Corto plazo | **R:** Programas piloto de eficiencia energética establecidos.<br>**M:** Porcentajes de variación anual de participantes en los programas piloto. |
| | **12.** Crear un fondo para financiar proyectos de innovación que tengan como objetivo el conocimiento público de la eficiencia energética y sus beneficios. | AEP, OMEP y AFI | $400,000 por año | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Mayor conocimiento sobre los programas piloto de eficiencia energética.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de los proyectos de innovación financiados. |

[6] P. Knight *et al.,* (2022). *The cost of energy efficiency programs: Estimates from utility-reported datasets*. *Energy*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221026979; C. Cohn (2021). *The Cost of Saving Electricity for the Largest U.S. Utilities: Ratepayer-Funded Efficiency Programs in 2018*. ACEEE. https://www.aceee.org/topic-brief/2021/06/cost-saving-electricity-largest-us-utilities-ratepayer-funded-efficiency

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en las plantas generatrices de electricidad mediante la disminución de la demanda de electricidad. | **13.** Mantener y actualizar periódicamente la información pública disponible sobre mejoras específicas de eficiencia energética, refrigeración y ventilación que cumplan con las normas. | AEP, OMEP y AFI | Un empleado de tiempo completo | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Información pública sobre actualizaciones disponibles para edificios.<br>**M:** Actualización de la información cada seis meses. |
| | **14.** Ampliar los incentivos financieros para la rehabilitación de edificios a fin de propiciar su aclimatación a las altas temperaturas reduciendo el uso de energía.[7] | AEP, OMEP y AFI | Costo nivelado de ahorros: $0.26 por kWh de ahorros;[8] $32 - $191 por pie cuadrado[9] | IRA, secciones 13301, 13302, 13303, 13304, 30002, 50121, 50122, Fideicomiso de Energía Verde de Puerto Rico (PR GET),[10] Fondo de Resiliencia Energética de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Acceso a incentivos financieros para la rehabilitación de edificios.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de accesos a incentivos financieros para la rehabilitación de edificios. |

[7] *City of Los Angeles* (2019). *L.A.'s Green New Deal: Sustainable City pLAn: Environment, Economy, Equity*. https://plan.lamayor.org/sites/default/files/pLAn_2019_final.pdf; p. 39.
[8] Ibíd.
[9] RMI (2021). *Guide to Building the Case for Deep Energy Retrofits*. https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/Pathways-to-Zero_Bldg-Case-for-Deep-Retrofits_Report_2012.pdf
[10] https://irecusa.org/blog/irec-news/nuevo-informe-como-financiar-un-futuro-de-energia-solar-en-puerto-rico/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Desarrollar y facilitar el acceso a incentivos financieros y fuentes de inversión para realizar mejoras de eficiencia energética en los sectores residencial, comercial e industrial.<br><br>Las inversiones en la eficiencia energética se deben acelerar para asegurar que todos los segmentos de la población, particularmente las comunidades de bajos y medianos ingresos, puedan solventar las actualizaciones y se puedan beneficiar de los ahorros energéticos y financieros que estas inversiones pueden producir. [...] | **1.** Asegurar la capacidad institucional a través de la contratación estable de personal en el Negociado de Energía de Puerto Rico (NEPR) para facilitar el acceso de consumidores de energía a fondos de la ley IRA, destinados a mejoras de eficiencia energética. | Negociado de Energía, AEE y DDEC (PPPE) | $484,000 | IRA, sección 50123 | Corto plazo | **R:** Aumentos documentados en desembolsos de eficiencia de la IRA a consumidores puertorriqueños.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual de aumento de desembolsos para la generación de eficiencia energética a consumidores. |
| | **2.** Desarrollar un plan de incentivos financieros para la adopción de eficiencia energética, considerando de manera prioritaria el aprovechamiento de fondos federales disponibles por la ley IRA. | NEPR, AEE/ LUMA, DH y DDEC | Costo nivelado de ahorros: $0.26 por kWh de ahorros[11] | IRA, secciones 13301, 13302, 13303, 13304, 30002, 50121, 50122 | Corto plazo | **R:** Aumento de ahorros energéticos según establecido en este curso de acción.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual de ahorro energético. |

[11] P. Knight *et al.,* (2022). *The cost of energy efficiency programs: Estimates from utility-reported datasets. Energy*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221026979 ; C. Cohn (2021). *The Cost of Saving Electricity for the Largest U.S. Utilities: Ratepayer-Funded Efficiency Programs in 2018*. ACEEE. https://www.aceee.org/topic-brief/2021/06/cost-saving-electricity-largest-us-utilities-ratepayer-funded-efficiency

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** [...]<br><br>Los incentivos financieros para consumidores (residenciales, comerciales e industriales) tienen buen historial de aumentar la participación en programas de eficiencia energética. Se debe considerar también un modelo de cargos o una sanción por uso excesivo para consumidores comerciales e industriales. (Véanse también, en la Ley 33-2019, las secciones 5.8 y 9.a.2.) | **3.** Incentivar la divulgación comunitaria de programas de eficiencia energética para aumentar el alcance de clientes de difícil acceso o reacios a cambios de consumo de energía. | NEPR, AEE/ LUMA | $2,480,000[12] | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Aumento de ahorros energéticos según establecido en este curso de acción.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual de ahorro energético. |

[12] *State of New Jersey* (2022). *In the Matter of the Clean Energy Programs and Budget for Fiscal Year 2022 – True-Up, Revised Budgets and Program Changes*. https://njcleanenergy.com/files/file/BPU/2022/QO21040720-%20FY%202022%20True%20Up%20Budget-%20Order%20(sp)%20(MR)%20(Clean).pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.3** Mejorar la documentación del consumo de electricidad por uso final, lugar, tipo de edificio o sitio (residencial, comercial, industrial) y las características económicas de los consumidores en Puerto Rico. Monitorear el consumo de energía de manera meticulosa por uso final y tipo de consumidor permitirá que Puerto Rico pueda dirigir de manera efectiva las inversiones que logren reducciones perdurdables en el consumo de energía eléctrica. | **1.** Recopilar, administrar y publicar datos necesarios para el diseño de campañas permanentes de educación pública multimedios sobre los beneficios que supone el consumo eficiente de electricidad. | NEPR, AEE/ LUMA y el IEPR | $242,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Datos disponibles al público y verificados por expertos independientes.<br>**M:** Número de personas del público objetivo que tuvieron acceso a campañas permanentes de educación pública. |
| | **2.** Desarrollar una estrategia de vinculación, participación y asociación de beneficiarios de programas de eficiencia energética comercial e industrial a fin de que reporten sus datos para una medición más precisa de eficiencia energética. | NEPR y AEE/LUMA | $242,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Aumento de ahorros energéticos según establecido en este curso de acción.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de ahorro energético. |
| | **3.** Identificar barreras de adopción de programas de eficiencia energética en clientes residenciales y diseñar una estrategia para lograr el acceso de la mayor cantidad de clientes en Puerto Rico. | NEPR y AEE/LUMA | $300,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Estudio detallado de los obstáculos a la adopción de programas de eficiencia energética.<br>**M:** Número de alternativas para superar las barreras de adopción de programas de eficiencia energética. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Promover la inversión en medidas de respuesta a la demanda que ofrezcan incentivos a los consumidores para reducir el uso de electricidad en tiempos de mayor demanda energética.<br><br>Las medidas de respuesta a la demanda son las fuentes de capacidad más costoeficientes, ya que es más económico financiar incentivos para eliminar la necesidad de consumo de energía en horas de demanda máxima que lo que cuesta proveer esa misma capacidad usando recursos de generación o de almacenamiento.<br><br>La inversión en la respuesta a la demanda incentiva el ahorro en los consumidores y reduce la necesidad de uso de combustibles fósiles para la generación eléctrica. | **1.** Requerir que la AEE (y la empresa operadora) establezcan programas de respuesta a la demanda con reducciones de capacidad de pico iguales a 1 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 12.5 % para 2040 y 15 % para 2050.[13] | AEE/LUMA y Genera PR, LLC (Genera) | $1.80 por kWh de hora pico | Fondo de Resiliencia Energética de Puerto Rico[14] | Corto plazo | **R:** Lograr reducciones en capacidad máxima de 1 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 12.5 % para 2040; y 15 % para 2050.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual de reducción de la capacidad máxima. |

[13] HECO (2016). *Power Supply Improvement Plan*. https://www.hawaiianelectric.com/clean-energy-hawaii/integrated-grid-planning/power-supply-improvement-plan; *Eversource Energy et al.,* (2022, 1 de marzo). *2022-2024 Conservation & Load Management Plan*. https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/energy/ConserLoadMgmt/Final-2022-2024-Plan-to-EEB-1112021.pdf , p.18; *Electric Power Research Institute* (2010). *Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs for the Tennessee Valley Authority*. https://www.epri.com/research/products/000000000001020871; *New Jersey Energy Master Plan* (2019), pp.139, 147.

[14] *U. S. DOE. Puerto Rico Energy Resilience Fund*. https://www.energy.gov/gdo/puerto-rico-energy-resilience-fund

## COA A.2: Desplazar el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica y, en su lugar, promover el uso de energía renovable o energía alternativa.[15]

**Mejores prácticas:**

- Lazard (2023). *Levelized Cost of Energy Analysis—Version 16*. https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/, p. 2.
- *Energy Information Administration* (EIA) – *Renewable energy explained. Renewable energy requirements and incentives*. https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/incentives.php
- *Implementing Net Metering Policies in Latin America and the Caribbean: Design, Incentives and Best Practices.* https://publications.iadb.org/en/implementing-net-metering-policies-latin-america-and-caribbean-design-incentives-and-best-practices
- OAR US EPA (2017, 23 de junio). *Energy and Environment Guide to Action - Chapter 7.3: Interconnection and Net Metering Standards, Other Policies and Guidance.* https://www.epa.gov/statelocalenergy/energy-and-environment-guide-action-chapter-73-interconnection-and-net-metering

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Reducir las emisiones totales de GEI en la generación de energía eléctrica a través del uso de fuentes renovables y alternativas. | **1.** Remplazar la infraestructura de generación de energía eléctrica a base de combustible fósil con sistemas de generación que funcionen con energía renovable o alternativa. Se debe considerar que las metas se cumplan garantizando el servicio continuo y estable del suministro de energía. | NEPR y AEE / Genera PR | Indeterminable | No aplica | Corto, mediano y largo plazo | **R:** Producir el 100 % de la electricidad con fuentes renovables para 2050.<br>**M:** Producir el 40 % de la energía eléctrica con fuentes renovables para 2025 y el 60 % para 2040. |
| | **2.** Desarrollar una infraestructura de medición neta que fomente la adopción a gran escala de recursos distribuidos y de almacenamiento de energía renovable o alternativa. Se debe considerar que las metas se cumplan garantizando el servicio continuo y estable del suministro de energía. | NEPR y AEE / LUMA | $121,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Infraestructura de medición neta publicada y en operación.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de energía renovable o alternativa provista a la red mediante mecanismos de medición neta. |

[15] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1) y de transportes y movilidad (sección 7.3). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en los sectores mencionados, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Reducir las emisiones totales de GEI en la generación de energía eléctrica a través del uso de fuentes renovables y alternativas. | **3.** Impulsar y garantizar la aplicación de los procesos de interconexión para asegurar la capacidad de alojamiento suficiente a fin de expandir la generación bidireccional de energía eléctrica y recursos de almacenamiento. Se debe considerar que las metas se cumplan garantizando el servicio continuo y estable del suministro de energía. | NEPR y AEE / LUMA | $121,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Reformas realizadas a la planificación de la capacidad de alojamiento e interconexión de recursos de energía eléctrica bidireccionales.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de aumento en la capacidad de alojamiento. |
| | **4.** Establecer incentivos financieros que permitan un acceso asequible a los recursos energéticos distribuidos, para uso tanto residencial como comercial. | NEPR y DDEC | Solar pública: $24 a $96 por MWh<br>Solar + almacenamiento (públicos): $46 a $102 por MWh<br>Eólica costera: $24 a $75 por MWh<br>Eólica costera + Almacenamiento: $42 a $114 por MWh | Ley IRA, (sección 13702), oportunidades competitivas de financiamiento de la ley federal *Build Back Better* del Departamento de Energía federal, PR GET, crédito fiscal de inversión para propiedades energéticas (elegible por pago directo). | Corto plazo | **R:** Incentivos financieros para recursos de energía distribuidos.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de aumento en el acceso a incentivos financieros para recursos energéticos renovables o alternativos. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.2** Las nuevas instalaciones para generar energía eléctrica a base de energía renovable o alternativa deben atender el aumento en la demanda de electricidad que representa el cambio en el parque vehicular a vehículos híbridos (*plug-in*) y eléctricos.<br><br>Se deben incluir las modificaciones necesarias al sistema eléctrico de manera que los dueños de vehículos híbridos o eléctricos puedan cargar esos autos en sus residencias, áreas de trabajo o áreas de entretenimiento y comidas sin afectar el sistema eléctrico. | **1.** Aumentar la generación de energía eléctrica a base de fuentes renovables o alternativas a un nivel que pueda atender la demanda que ejercerán los vehículos híbridos y eléctricos. | NEPR, AEE/ LUMA/Genera PR y la AAPP | Indeterminable | No aplica | Corto y mediano plazo | **R:** Generación suficiente de energía eléctrica a base de fuentes renovables o alternativas para cubrir la demanda de los vehículos híbridos y eléctricos.<br><br>**M:** Proveer suficiente energía eléctrica a fin de cubrir las necesidades de 250,000 vehículos híbridos y eléctricos para 2030. |
| | **2.** Aumentar la capacidad de los transformadores en las urbanizaciones y otras áreas de vivienda.<br><br>**3.** Establecer permisos expeditos para proyectos de aumento de carga en subestaciones de condominios, comercios y edificios sin ascensor (*walk-ups*). | NEPR, AEE/ LUMA y OGPe | | Fondos propios de las entidades responsables y fondos del Departamento de Energía federal | Mediano plazo | **R:** Remplazo de transformadores a unos de mayor capacidad ( de más de 80KVA).<br><br>**M:** Remplazar más de 75 % de los transformadores en las áreas urbanas en 5 años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.3** Incrementar la capacidad de la infraestructura de almacenamiento de energía para propiciar el desuso de las plantas generadoras de energía que operan a base de combustibles fósiles a fin de proveer fuentes confiables de energía eléctrica en los picos de demanda, lo que permitirá reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector energético.<br><br>[...] | **1.** Requerir que la AEE (y la empresa operadora) construyan o contraten con recursos de almacenamiento iguales al 2 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 40 % para 2040, y 60 % entre 2041 y 2050.[16] | NEPR, AEE/ LUMA/Genera PR y DH | 100MW/<br><br>100MWh (al por mayor): $55 a $97 por kW-año<br><br>100MW/ 200MWh (al por mayor): $101 a $178 por kW-año<br><br>100MW/ 300MWh (al por mayor): $181 a $322 por kW-año<br><br>Independiente comercial e industrial (1MW/2MWh): $221 a $318 por kW-año[17] | Créditos fiscales de IRA<br><br>[...] | Corto plazo | **R:** Instalar recursos de almacenamiento de 2 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 40 % para 2040, y 60 % de 2041 a 2050.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual del aumento de la capacidad de almacenamiento establecido. |

[16] *New Jersey Board of Public Utilities* (2019). *Energy Master Plan: Pathway to 2050*. https://s24.q4cdn.com/601515617/files/doc_downloads/2020/01/Final-2019-NJBPU-EMP.pdf, p. 105; *Hawaii Electric Companies* (HECO) (2023). *Integrated Grid Plan*. https://hawaiipowered.com/igpreport/IGP-Report_Final.pdf; CT PURA (2022, 18 de enero). *Connecticut Launches Statewide Battery Storage Program with Green Bank and Utilities to Jointly Administer Incentives to Improve Resilience and Benefit Ratepayers*. https://portal.ct.gov/PURA/Press-Releases/2022/Connecticut-Launches-Statewide-Battery-Storage-Program; *California Energy Commission* (2021, noviembre). *Buy Low, Sell High: How Batteries are Cleaning Up the Grid*. https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-insights/buy-low-sell-high-how-batteries-are-cleaning-grid

[17] *Lazard's Levelized Cost of Storage Analysis—Version 7.0*. https://www.lazard.com/media/42dnsswd/lazards-levelized-cost-of-storage-version-70-vf.pdf, p. 5.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.3** [...]<br>La planificación del almacenamiento de energía eléctrica debe considerar el uso de redes de distribución inteligentes y cerradas. (Véase también Ley 33-2019, artículo 9.a.6.). | 1. Requerir que la AEE (y la empresa operadora) construyan o contraten con recursos de almacenamiento iguales al 2 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 40 % para 2040, y 60 % entre 2041 y 2050. | NEPR, AEE/ LUMA/Genera PR y DH | 100MW/ 100MWh (al por mayor): $55 a $97 por kW-año<br>100MW/ 200MWh (al por mayor): $101 a $178 por kW-año<br>100MW/ 300MWh (al por mayor): $181 a $322 por kW-año<br>Independiente comercial e industrial (1MW/2MWh): $221 a $318 por kW-año | [...]<br>Crédito fiscal de producción de energía renovable (elegible por pago directo), crédito fiscal de producción para electricidad limpia (elegible por pago directo), crédito fiscal de inversión para propiedades energéticas (elegible por pago directo), crédito fiscal de inversión para energía limpia (elegible por pago directo); oportunidades competitivas de financiamiento de la ley federal, *Build Back Better* del Departamento de Energía federal, PR GET y Fondo de Energía Verde de Puerto Rico. | Corto plazo | **R:** Instalar recursos de almacenamiento de 2 % del pico de consumo para 2025; 10 % para 2030; 40 % para 2040, y 60 % de 2041 a 2050.<br>**M:** Porcentaje de variación anual del aumento de la capacidad de almacenamiento establecido. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.3** Incrementar la capacidad de la infraestructura de almacenamiento de energía para propiciar el desuso de las plantas generadoras de energía que operan a base de combustibles fósiles a fin de proveer fuentes confiables de energía eléctrica en los picos de demanda. Esto permitirá reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector energético.<br><br>La planificación del almacenamiento de energía eléctrica debe considerar el uso de redes de distribución inteligentes y cerradas. (Véase también Ley 33-2019, artículo 9.a.6.). | **2.** Agilizar los procesos de permiso e interconexión para proyectos de almacenamiento de energía.[18] | NEPR y AEE / LUMA/ Genera PR, DDEC (PPPE) y OGPe*<br><br>(*Para estrategias de mitigación) | No aplica | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Reformas realizadas a la planificación de la capacidad de alojamiento e interconexión de recursos de energía eléctrica bidireccionales.<br><br>**M:** Porcentaje de variación anual del aumento de los procesos de permiso e interconexión para proyectos de almacenamiento de energía eléctrica. |
| | **3.** Desarrollar objetivos de almacenamiento a corto, mediano y largo plazo para complementar el aumento de las energías renovables o alternativas.[19] | Asamblea Legislativa y Gobernador de Puerto Rico | No aplica | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Objetivos de almacenamiento a corto, mediano y largo plazo establecidos. |

[18] *City of Los Angeles.* 2019. *L.A.'s Green New Deal: Sustainable City pLAn: Environment, Economy, Equity.* https://plan.lamayor.org/sites/default/files/pLAn_2019_final.pdf. p. 39.

[19] M*ichigan EGLE. 2022. MI Healthy Climate Plan*. https://www.michigan.gov/egle/about/organization/climate-and-energy/mi-healthy-climate-plan#:~:text=The%20MI%20Healthy%20Climate%20Plan%20lays%20out%20a%20pathway%20for,sustainable%20Michigan%20for%20all%20Michiganders. p. 33.

**COA A.3 Lograr el cese definitivo de operaciones de la planta de carbón para diciembre de 2027 y prohibir la concesión de nuevos contratos o permisos y la extensión de contratos o permisos existentes para generar energía a base de carbón en Puerto Rico, con el fin de eliminar su dependencia para diciembre de 2027.[20]**

**Mejores prácticas:**

- *Agreement Reached at OECD to End Export Credit Support for Unabated Coal-Fired Power Plants – OECD.* https://www.oecd.org/newsroom/agreement-reached-at-oecd-to-end-export-credit-support-for-unabated-coal-fired-power-plants.htm

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Propiciar el desuso del carbón para generar energía eléctrica en Puerto Rico y contribuir a reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector energético. | **1.** Hacer cumplir la prohibición de generar energía eléctrica a base de carbón a partir de diciembre de 2027 mediante la denegación de contratos o permisos nuevos y de solicitudes de prórrogas de contratos o permisos existentes. La operación continua de plantas generadoras a base de carbón es un obstáculo importante para eliminar las emisiones de GEI del sector de suministro eléctrico en Puerto Rico. El retiro programado de la planta de carbón en Guayama es esencial para lograr los objetivos de reducción de GEI de Puerto Rico. (Véase también, Ley 33-2019, secciones 5.4-5 y 9.a.1.) | NEPR | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Ni se renuevan ni se emiten nuevos contratos ni permisos para producir energía eléctrica a base de carbón a partir de diciembre de 2027.<br>**M:** Cierre de la planta de generación de electricidad a base de carbón ubicada en Guayama. |
| | **2.** Acelerar la construcción de instalaciones de energía renovable o alternativa para cubrir la carga que genera la planta de carbón. | NEPR | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Mantener la carga de electricidad que compense el cese de operaciones de la planta que genera electricidad a base de carbón en diciembre de 2027.<br>**M:** Terminar de construir las instalaciones de energía renovable o alternativa que suplan la cantidad de energía que produce la planta de carbón para diciembre de 2026. |

[20] Este es un tema transversal que incide en el sector de energía (sección 7.1). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## COA A.4: Establecer y desarrollar estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero en el sector de transportación.[21]

**Mejores prácticas:**

- *Future Energy* (2022). *What Does a Level 3 Charger Cost?* https://futureenergy.com/ev-charging/what-does-a-level-3-charger-cost/
- M. Bushell *et al., (2013). Costs for Pedestrian and Bicyclist Infrastructure Improvements.* https://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/Countermeasure_Costs_Summary_Oct2013.pdf, p. 2.
- *Puerto Rico Highways and Transportation Authority* (2023). *Transportation Improvement Program (TIP) Fiscal Year 2023-2026 AMENDMENT #1.* https://act.dtop.pr.gov/wp-content/uploads/2023/04/TIP-SJUA-2023-2026-AprobadoporMPO-Marzo2023.pdf , p. 12.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector de la transportación se reduzcan en el 21 % para 2028 a partir de la descarbonización del transporte y la aceleración de la transformación del sistema de generación de energía eléctrica a fuentes renovables o alternativas. | **1.** Incrementar la cantidad de sistemas de recarga para carros híbridos y eléctricos con el propósito de brindar más cobertura a los vehículos personales y comerciales. | DTOP | $40,000 a $175,000 para cargadores del nivel 3<br>$2,500 a $5,500 para cargadores del nivel 2 | *Infrastructure Investment and Jobs Act* (IIJA), sección 11401, *Internal Revenue Service* (IRS) *Advanced Energy Project Credit* (elegible por pago directo). | Mediano plazo | **R:** Aumento en el número de estaciones de carga.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de la capacidad de carga para vehículos eléctricos pertenecientes a la flota pública. |

[21] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1), de infraestructura (sección 7.2) y de transportes y movilidad (sección 7.3). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en los sectores mencionados, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector de la transportación se reduzcan en el 21 % para 2028 a partir de la descarbonización del transporte y la aceleración de la transformación del sistema de generación de energía eléctrica a fuentes renovables o alternativas. | **2.** Implantar un plan de incentivos financieros para desarrollar la demanda de vehículos pesados y de carga eléctricos a fin de descarbonizar la flota pesada en Puerto Rico. | DH<br>(arbitrios y planillas)<br>DDEC<br>(incentivos a empresas)<br>DTOP | $1,000,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Plan para descarbonizar vehículos pesados en Puerto Rico.<br>**M:** Porcentaje de la variación anual del aumento de unidades pesadas eléctricas. |
| | **3.** Expandir y rehabilitar la infraestructura vial para peatones y ciclistas. | DTOP y municipios | $112,435 por milla de carriles de bicicleta; $25 por milla para aceras concretas[22] | FAST Act y fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Expansión de la infraestructura vial para peatones y ciclistas.<br>**M:** Porcentaje de variación anual del aumento de extensión de la infraestructura vial para peatones y ciclistas. |

[22] M. Bushell *et al.,* (2013). *Costs for Pedestrian and Bicyclist Infrastructure Improvements*. https://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/Countermeasure_Costs_Summary_Oct2013.pdf, p. 2.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector de la transportación se reduzcan en el 21 % para 2028 a partir de la descarbonización del transporte y la aceleración de la transformación del sistema de generación de energía eléctrica a fuentes renovables o alternativas. | **4.** Expandir la oferta de transporte colectivo donde haya demanda suficiente, a través de la introducción de autobuses eléctricos y de incentivos para la transición renovable o alternativa de la red de carros públicos, con el propósito de minimizar los impactos a corto plazo en la mano de obra del sector de la transportación. | DTOP, Autoridad de Carreteras y Transportación y municipios | $350 millones para el área urbanizada de San Juan (2023-2026)[23] | San Juan TIP-SJUA, IIJA (22307), https://www.fhwa.dot.gov/fastact/: Crédito para vehículos de energía limpia y comerciales cualificados (elegible por pago directo); https://www.transit.dot.gov/funding/grants/urbanized-area-formula-grants-5307, https://www.transit.dot.gov/funding/grants/enhanced-mobility-seniors-individuals-disabilities-section-5310, Subvenciones para el buen estado de conservación de la sección 5337, https://www.transit.dot.gov/bus-program y créditos de peajes. | Corto plazo | **R:** Red de autobuses y de carros públicos ampliada.<br>**M:** Porcentaje de variación anual del aumento de la oferta de transporte público en Puerto Rico. |

[23] *Puerto Rico Highways and Transportation Authority. 2023. Transportation Improvement Program (TIP) Fiscal Year 2023-2026 AMENDMENT #1*. https://act.dtop.pr.gov/wp-content/uploads/2023/04/TIP-SJUA-2023-2026-AprobadoporMPO-Marzo2023.pdf, p. 12.

## COA A.5: Establecer y desarrollar estrategias de manejo sustentable de materiales y residuos.[24]

**Mejores prácticas:**

- U.S. EPA. (2016). *Collection Costs.* https://archive.epa.gov/wastes/conserve/tools/localgov/web/html/collection.html
- *OLEM US EPA, Waste Reduction Model (WARM), Collections and Lists, January 7, 2016.* https://www.epa.gov/warm

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.1** Implantar estrategias para reducir y desviar el 60 % de la cantidad de residuos que terminan siendo depositados en vertederos o puedan requerir la creación de instalaciones de incineración de residuos, de manera que se contribuye también a la reducción de emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector de gestión de residuos en 8 % para 2028.<br><br>De esta forma, Puerto Rico no solo reducirá las vulnerabilidades de su población a los efectos negativos en la salud asociados con sitios de desecho de residuos, sino que reducirá también las emisiones de GEI asociadas con la gestión de residuos sólidos que se produzcan. | **1.** Evaluar los resultados del estudio de caracterización (categorización) de la composición de los residuos de Puerto Rico. Esta evaluación guiará las estrategias dirigidas a desviar los residuos. | DRNA | $1,000,000, seguimiento<br><br>$2,000,000, completo | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Estrategias para desviar los residuos.<br><br>**M:** Evaluación de los resultados en seis meses. |
| | **2.** Seguir e informar anualmente el progreso hacia la meta a corto plazo de reducir los residuos en Puerto Rico (60 % para 2030). Establecer metas y métricas para reducir los residuos a largo plazo. | DRNA | $121,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Informes de progreso regulares sobre la reducción de los residuos en Puerto Rico.<br><br>**M:** 9 % de reducción anual de los residuos. |
| | **3.** Diseñar e implantar el Plan de Manejo Sustentable de Materiales para lograr la meta de reducir el desecho de residuos en los vertederos. Este plan deberá contar con un conjunto de mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos a fin de asegurar que se minimizan los efectos ambientales y en la salud pública. Asimismo, deberá identificar alternativas para el desecho de los residuos sólidos que no puedan ser desviados hacia su reutilización y reciclaje. | DRNA y DDEC | $2,500,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Plan de Manejo Sustentable de Materiales publicado.<br><br>**M:** Número de mejores prácticas sostenibles para la gestión de los residuos sólidos. |

[24] Este es un tema transversal que incide en el sector de residuos sólidos (sección 7.4). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluioas en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.2** Desarrollar estrategias para reducir la generación de productos residuales y promover la reutilización de manera que se contribuye también con reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector gestión de residuos en 8 % para 2028. | **1.** Desarrollar un programa de educación pública enfocado en reducir la generación de residuos mediante el consumo sostenible y la reducción del consumo en general. | DACO y DE | $121,000 | Programa de Subvenciones para la Infraestructura de Residuos Sólidos y Reciclaje (SWIFR). https://www.epa.gov/infrastructure/solid-waste-infrastructure-recycling-grant-program | Corto plazo | **R:** Programa de promoción de consumo sostenible publicado.<br>**M:** Número de personas del público objetivo a las que el programa de educación pública tiene alcance. |
| | **2.** Regular el uso de productos con empaque de plástico de un solo uso y empaques de espuma de poliestireno (*foam*). | Asamblea Legislativa y Gobernador de Puerto Rico | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Regulaciones sobre productos y paquetes.<br>**M:** Número de productos que deben modificar el empaque de plástico para cumplir con la regulación. |
| | **3.** Aumentar el desvío de los bienes reutilizables y productos reparables. | DRNA y DACO | $121,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Desvío medible de los productos reutilizables y reparables.<br>**M:** Porcentaje de la variación anual de los bienes reutilizables y productos reparables desviados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.3** Propiciar el aumento de acciones de reciclaje y compostaje para capturar materiales que típicamente terminan en los vertederos, de manera que se contribuye también a reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector gestión de residuos en 8 % para 2028. | **1.** Desarrollar un plan de asistencia técnica a residentes, empresas e instituciones para informarles y proveer capacidad a fin de reciclar y compostar correctamente. | DRNA | $242,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Plan de asistencia técnica publicado.<br>**M:** Número de residentes, empresas e instituciones informadas. |
| | **2.** Establecer estándares mínimos de reciclaje y compostaje o requerimientos para residentes, empresas e instituciones. | Asamblea Legislativa y Gobernador de Puerto Rico | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Publicación de estándares mínimos de reciclaje y compostaje.<br>**M:** Número de estándares mínimos de recicaje y compostaje establecidos. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.3** Propiciar el aumento de acciones de reciclaje y compostaje para capturar materiales que típicamente terminan en los vertederos, de manera que se contribuye también a reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector gestión de residuos en 8 % para 2028. | **3.** Proveer, expandir y estandarizar la colección de reciclaje y compostaje y las opciones de entrega. | DRNA | $58.5 mil millones (5 camiones por municipio) | SWIFR, https://www.epa.gov/infrastructure/solid-waste-infrastructure-recycling-grant-program | Corto plazo | **R:** Incremento de los servicios de reciclaje y compostaje.<br>**M:** Porcentaje de la variación anual de la materia reciclada y compostada. |
| | **4.** Aumentar la infraestructura de Puerto Rico para colectar y procesar materiales reciclables y compostables a fin de animar el desarrollo de empresas y expandir la capacidad y opciones. | DRNA | $350 millones - $500 millones (en infraestructura) | SWIFR | Corto plazo | **R:** Incremento de los servicios de reciclaje y compostaje.<br>**M:** Porcentaje de la variación anual de la materia reciclada y compostada. |

**COA A.6: Establecer y desarrollar estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero que se generan a partir de la realización de los procesos industriales.**

**Mejores prácticas:**

- *Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions in Industry--Successful Approaches and Lessons Learned: Workshop Report | Climate Technology Centre & Network.* https://www.ctc-n.org/resources/policies-reduce-greenhouse-gas-emissions-industry-successful-approaches-and-lessons

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.6.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector procesos industriales se reduzcan en 7 % para 2028 (con respecto a las emisiones del año 2021) a partir del incentivo a la eficiencia y descarbonización industrial.<br><br>Estas emisiones del sector industrial deberán controlarse de acuerdo al reglamento requerido al DRNA mediante la Ley 33-2019. | **1.** Desarrollar un reglamento para el control de emisiones de GEI. | DRNA | $100,000 | EPA | Corto plazo | **R:** Reglamento final en un año.<br><br>**M:** Borrador de reglamento en 6 meses. |
| | **2.** Crear incentivos financieros para aumentar la eficiencia energética industrial de la producción del cemento y la producción de semiconductores. | DRNA y DDEC | No aplica | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Implantación de medidas de eficiencia energética en la producción industrial.<br><br>**M:** Porcentaje de la variación anual del ahorro en el consumo energético en la producción industrial.<br><br>**M:** Reducción de 2 % anual en las emisiones de $CO_2e$ del sector establecido en los datos provistos en el inventario de emisiones de gases de efecto de invernadero del DRNA. |
| | **3.** Monitorear el uso de combustibles y métodos de producción alternativos existentes fuera de Puerto Rico y establecer incentivos y oportunidades financieras para realizar pruebas experimentales en la isla. | DRNA y DDEC | $80,400 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Nuevos métodos de producción con combustibles alternos.<br><br>**M:** Número de métodos de producción y uso de combustible monitoreados. |

## COA A.7: Establecer y desarrollar estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero en el sector agrícola.[25]

**Mejores prácticas:**

- *McKinsey & Company* (2020). *Reducing agriculture emissions through improved farming practices.* https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/reducing-agriculture-emissions-through-improved-farming-practices
- *Enteric Fermentation: Emissions & Mitigation Options » AgLED, AgLEDx Resource Platform (blog).* https://agledx.ccafs.cgiar.org/emissions-led-options/sources-sinks/enteric-fermentation/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.7.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector agricultura disminuyan en 2 % para 2028. | **1.** Establecer incentivos financieros para la adquisición de digestores del metano y otras técnicas de gestión de estiércoles a fin de reducir las emisiones. | Departamento de Agricultura (DA) | No aplica | No aplica | Corto plazo | **R:** Aumento en la instalación de digestores de metano y en el uso de técnicas alternativas de gestión de estiércoles.<br>**M:** Porcentaje de la variación anual de la cantidad de estiércoles gestionados para reducir emisiones. |
| | **2.** Establecer un fondo de financiamiento para brindar apoyo y asistencia técnica a organizaciones de agroecología basadas en comunidades locales para expandir el uso de prácticas de cultivo sostenibles en Puerto Rico. | DA | $160,800 | IRA, sección 21001 y USDA | Corto plazo | **R:** Fondo de financiamiento para la asistencia técnica a organizaciones de agroecología establecido.<br>**M:** Número de organizaciones agroecológicas con acceso al fondo de financiamiento. |

[25] Este es un tema transversal que incide en el sector de agricultura y ganadería (sección 7.6). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.7.1** Propiciar que las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$) del sector agricultura se reduzcan en 2 % para 2028. | **3.** Incrementar el secuestro de carbono en los terrenos agrícolas. | DA | Indeterminable | IRA (sección 21001) y USDA | Corto plazo | **R:** Mayor cantidad de carbono almacenado en los terrenos agrícolas con respecto a 2023.<br>**M:** Establecimiento de medidas para incrementar la captura de carbono en 50 fincas para 2026. |
| | **4.** Remplazar la flota vehicular a base de combustión interna por una híbrida o eléctrica en el sector agrícola. | | | | | **R:** 100 % de la flota vehicular agrícola híbrida o eléctrica para 2027.<br>**M:** 50 % de la flota vehicular agrícola híbrida o eléctrica para 2025. |
| | **5.** Incentivar el cultivo del café a la sombra. | DA | | IRA y USDA | Mediano plazo | **R:** 100 % del café de Puerto Rico cultivado a la sombra a mediano plazo.<br>**M:** 50 % del café cultivado a la sombra para 2027. |

## B. Mejorar la precisión del inventario anual de GEI de Puerto Rico.

### COA B.1 Implantar medidas para mejorar la recolección y verificación de datos que permitan el seguimiento de los objetivos de reducción de emisiones de GEI.

**Mejores prácticas:**

- IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (Vol. 1. *General Guidance and Reporting*). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html
- *U. S. Environmental Protection Agency* (2023). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks*. https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks
- DRNA (2014). *Puerto Rico Greenhouse Gases Baseline Report*. https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/05/Puerto-Rico-GHG-2014.pdf
- DRNA (2023). Informe de Inventarios 2019 y 2021 de Gases de Efecto Invernadero para Puerto Rico. https://www.drna.pr.gov/noticias/inventario-gei-2019-2021/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Propiciar una recopilación integral y robusta de datos para asegurar que Puerto Rico pueda monitorear y evaluar su progreso hacia sus objetivos de reducción de emisiones de GEI. | 1. Establecer un mecanismo para la recopilación anual de todos los datos sensibles al registro de emisiones de GEI que exija a los organismos pertinentes presentar o publicar antes del 31 de marzo de cada año una lista específica de los datos sobre emisiones y las actividades correspondientes al año anterior. La presentación de los datos anuales deberá incluir:<br>**a.** AEE: consumo de combustible y compras de energía.<br>**b.** ATM: compras de combustible marítimo.<br>**c.** DTOP: consumo de gasolina y gasóleo en carreteras.<br>**d.** DH: ingresos fiscales de ventas de combustible de aviación y marítimo.<br>**e.** BDE: producción y ventas de cemento en Puerto Rico.<br>**f.** DRNA: Área de Control de Contaminación Terrestre - Emisiones de vertederos Título V y cantidades de desechos.<br>**g.** AAA: cuánto volumen de aguas usadas procesadas por la AAA recibe tratamiento primario, cuánto recibe tratamiento secundario y cuánto recibe tratamiento avanzado.<br>**h.** DA: cantidad de árboles sembrados, árboles destruidos por fuego y talas, cuerdas de pastizales quemados. | DRNA | $107,000 | Fondos propios de las entidades responsables y *Climate Pollution Reduction Grant* — EPA | Corto plazo | **R:** Inventario anual de emisiones de GEI sin retraso.<br>**M:** Inventario anual de emisiones de GEI publicado antes de 31 de agosto del año siguiente al reportado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Propiciar una recopilación integral y robusta de datos para asegurar que Puerto Rico pueda monitorear y evaluar su progreso hacia sus objetivos de reducción de emisiones de GEI. | **2.** Requerir la recopilación de los datos ausentes en los sectores **industrial**, de **agricultura**, de **silvicultura y otros usos de tierra** y **gestión de residuos**, esenciales para la medición de emisiones de GEI, incluyendo:<br>**a.** Consumo de combustible para uso directo y transporte, datos anuales de empresas importadoras y distribuidoras.<br>**b.** Datos anuales de producción y venta de semiconductores procedentes de instalaciones industriales.<br>**c.** Producción y consumo de sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono (conocidas como SAO por sus siglas en inglés), datos anuales de instalaciones industriales.<br>**d.** Resultados actualizados del Censo de Agricultura.<br>**e.** Silvicultura y otros usos de tierra y cambios en el uso del suelo.<br>**f.** Categorización de residuos realizado al menos una vez cada cinco años (el último estudio lo realizó la Autoridad de Desperdicios Sólidos en 2003). | DRNA, IEPR, DA, DH y DACO | $484,000 | Fondos propios de las entidades responsables y *Climate Pollution Reduction Grant* — EPA | Corto plazo | **R:** Reducción de la imprecisión de los inventarios de emisiones de GEI que se publican anualmente.<br>**M:** Calificación mínima IPCC Tier 2 de los sectores emisores de procesos industriales, la agricultura, la silvicultura y otros usos de tierra y residuos. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Propiciar una recopilación integral y robusta de datos para asegurar que Puerto Rico pueda monitorear y evaluar su progreso hacia sus objetivos de reducción de emisiones. | **3.** Establecer un procedimiento de verificación de datos con el fin de resolver las inconsistencias entre los datos contabilizados para los sectores de **transporte** y **uso directo de combustibles**. Este procedimiento deberá detallar el consumo específico de determinadas tecnologías de transporte y los usos diferenciados para alcanzar mayores grados de precisión. Asimismo, deberá tener en cuenta la separación de los usos directos de combustibles (generación de reserva, calentamiento de agua y cocina o funcionamiento de maquinaria) por los subsectores residencial, comercial, institucional e industrial. | DRNA, IEPR, DH, DACO y DTOP | $88,400 | Fondos propios de las entidades responsables y *Climate Pollution Reduction Grant* — EPA | Corto plazo | **R:** Inventario de emisiones de GEI publicado anualmente con mayor precisión que los correspondientes a 2019 y 2021 (línea base).<br>**M:** Calificación mínima IPCC Tier 2 para los sectores emisores de transporte y uso directo de combustibles. |
| | **4.** Calibrar los métodos y procesos para producir las proyecciones de datos socioeconómicos y demográficos para Puerto Rico (población, empleo, crecimiento económico y otras métricas de bienestar). Esta estrategia buscará aumentar el número de proyecciones socioeconómicas realizadas por instituciones puertorriqueñas, de manera que se asegure la confiabilidad y precisión de los pronósticos sobre los cuales las mediciones y proyecciones de emisiones de GEI son sensibles. | IEPR, Banco de Desarrollo Económico (BDE) | $73,100 | Fondos propios de la entidades responsables | Corto plazo | **R:** Inventario de emisiones de GEI publicado anualmente con mayor precisión que los correspondientes a 2019 y 2021 (línea base).<br>**M:** Más de 50 % de los indicadores socioeconómicos empleados en los inventarios de emisiones de GEI publicados cada año, recogidos y proyectados por las agencias del gobierno de Puerto Rico. |
| **B.1.2** Propiciar el consumo eficiente de energía en las instalaciones públicas estatales y municipales de Puerto Rico para contribuir a reducir las emisiones totales de GEI (medidas en $CO_2e$). | **1.** Desarrollar un inventario de emisiones de GEI de las instalaciones públicas estatales y municipales en Puerto Rico. Este inventario tendrá como objetivo identificar las principales fuentes de emisiones de GEI, lo que permitirá detectar potenciales oportunidades para reducir el consumo y adoptar medidas de eficiencia energética. Es sumamente relevante que el sector público de Puerto Rico lidere el consumo eficiente de energía, a modo de dar el ejemplo para el resto de los sectores y la ciudadanía en general. | DRNA | $400,000[26] | Fondos propios de la entidad responsable y *Climate Pollution Reduction Grant* — EPA | Corto plazo | **R:** Inventario anual de emisiones de GEI de las instalaciones públicas estatales y municipales.<br>**M:** Inventario anual de emisiones de GEI publicado antes del 30 de junio del año siguiente al reportado. |

[26] Costo aproximado tomando como referencia el inventario de emisiones de GEI contratado por el DRNA a *Applied Economics Clinic* a fin de desarrollar los inventarios de toda la isla para 2019 y 2021.

## C. Requerir que cualquier reconstrucción, rehabilitación o mejora a una estructura promueva la utilización de sistemas eficientes de consumo de energía eléctrica y de ventilación o aquellos diseñados para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero.

### COA C.1: Implantar y exigir que se cumpla con los requisitos de mejorar la eficiencia en el uso de energía eléctrica en edificios residenciales, comerciales e industriales para reducir las emisiones de GEI provenientes del uso de combustibles.[27]

**Mejores prácticas:**

- LEED v 4.1, USGB. https://www.usgbc.org/leed/v41
- LEED *certification fees*, USGB. https://www.usgbc.org/tools/leed-certification/fees
- *New homes and apartments, Energy Star*. https://www.energystar.gov/newhomes
- *Standard* 90.1, ASHRAE. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1
- *Energy Efficiency Guides for Existing Commercial Buildings*, ASHRAE. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/energy-efficiency-guides-for-existing-commercial-buildings
- *Standard 100-2015 Energy Efficiency in Existing Buildings*, ASHRAE. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-100

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Reducir las emisiones de GEI a través de la implantación de códigos de construcción que permitan la ventilación cruzada, eficiencia energética y la descarbonización de los materiales de construcción. | **1.** Requerir la certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED de certificación de edificios sostenibles del *US Green Building Council* (USGBC) en las siguientes tipologías edilicias : edificios de oficinas, institucionales, universitarios, de industrias y centros comerciales, y cualquier construcción de edificios de 30,000 pies cuadrados (PC) o más, o usos agregados de una misma institución igual o mayor a los 30,000 PC. Las escuelas públicas y privadas y la vivienda quedarán exentas de este requerimiento, pero cumplirán con los criterios de otros programas a designarse. | OGPe | $10,000 - $25,000 por edificio | DV y OGPe | Corto plazo | **R:** Certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED requerida por la OGPe.<br><br>**M:** Comparar la cantidad de edificios certificados LEED *Silver* antes y después de la aprobación de este plan para que cada año sea siempre superior o igual a 10 % anual en certificaciones nuevas. |

[27] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructuras (sección 7.2). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Reducir las emisiones de GEI a través de la implantación de códigos de construcción que permitan la ventilación cruzada, la eficiencia energética y la descarbonización de los materiales de construcción. | **2.** Adoptar las secciones aplicables del *International Energy Conservation Code* y de los estándares de ASHRAE al Código de Construcción de Puerto Rico con las enmiendas necesarias para ajustarlo a nuestra realidad climática y económica. | OGPe | $100,000 | DV y OGPe | Corto plazo | **R:** Código de Construcción de Puerto Rico con secciones aplicables del International Energy Conservation Code y de los estándares de ASHRAE.<br>**M:** Comparar la cantidad de edificios con permisos de construcción antes y después de la aprobación de este plan para que cada años sea siempre mayor o igual a 10 % anual en certificaciones nuevas. |
| | **3.** Ampliar los incentivos financieros para la rehabilitación de edificios.[28] | AEP, OMEP y AFI | Costo nivelado de ahorros: $0.26 por kWh de ahorros[29]<br>$32 - $19 por pie cuadrado[30] | Ley federal IRA (secciones 13301, 13302, 13303, 13304, 30002, 50121, 50122), PR GET, Fondo de Resiliencia Energética de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Acceso a incentivos financieros para la rehabilitación de edificios.<br>**M:** Porcentaje de variación anual de accesos a incentivos financieros para la rehabilitación de edificios. |

[28] *City of Los Angeles* (2019). *L.A.'s Green New Deal: Sustainable City pLAn: Environment, Economy, Equity*. https://plan.lamayor.org/sites/default/files/pLAn_2019_final.pdf, p. 39.
[29] Ibíd.
[30] RMI (2021). *Guide to Building the Case for Deep Energy Retrofits*. https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/Pathways-to-Zero_Bldg-Case-for-Deep-Retrofits_Report_2012.pdf

## D. Promover la reforestación y la protección de la población arbórea existente en y fuera de los bosques.

### COA D.1: Establecer y desarrollar un programa masivo de reforestación y preservación para expandir la capacidad de remoción de GEI de la atmósfera en Puerto Rico.

**Mejores prácticas:**

- J. Fargione *et al.,* (2021). *Challenges to the Reforestation Pipeline in the United States. Sec. Forest Management*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.629198/full
- *Department of Natural and Environmental Resources. Puerto Rico Forest Action Plan* (2016). https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2016/12/SAP-2016-FINAL-9-15-2016-rev-ETI.compressed.pdf
- *Massachusetts Institute of Technology* (2015). *"Sustainable Logging Practices." Mission 2015: Biodiversity*. https://web.mit.edu/12.000/www/m2015/2015/logging.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Remover una cantidad sustancial de GEI de la atmósfera en Puerto Rico. | **1.** Establecer un programa de restauración forestal en el DRNA y contratar a personal con el fin de conducir alcance comunitario y coordinar actividades de siembra de árboles a través de toda la isla incluyendo áreas urbanas. Esta estrategia debe ser cónsona con las estrategias detalladas de reforestación establecidas en la sección 7.9 del P-MARCC (Reforestación y ecosistemas terrestres). (Véase también la Guía de Reforestación para Puerto Rico, en los anejos del P-MARCC). Este plan deberá contemplar el establecimiento de colaboraciones entre el DRNA y organizaciones comunitarias como Para la Naturaleza y Casa Pueblo, entre otras, para llevar a cabo la siembra de árboles de forma rápida y justa a través de toda la isla. | DRNA | $8,500,000[31] | Ley IRA (sección 23003) | Corto plazo | **R:** Aumento de 10 % de la población arbórea (línea base 2023).<br>**M:** Al menos 100,000 árboles sembrados anualmente. |
| | **2.** Establecer una mayor fiscalización y vigilancia de los contratos para la poda de árboles a fin de evitar la tala indiscriminada. Expedir multas y exigir la compensación por los árboles destruidos cuando se determine que la tala no fue autorizada. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable, Servicio Forestal y ley IRA | Corto plazo | **R:** Reducir a un mínimo la tala indiscriminada de árboles en Puerto Rico.<br>**M:** Cantidad de multas impuestas por año y cantidad de árboles sembrados para compensar por la tala de árboles. |

[31] J. Fargione *et al.,* (2021). *Challenges to the Reforestation Pipeline in the United States. Sec. Forest Management*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.629198/full

CAPÍTULO 7

# Cursos de acción (COA) para la adaptación y resiliencia ante el cambio climático por sectores

En este capítulo se identifican los COA desarrollados a partir del diagnóstico de la situación de las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico para los sectores que incluye este P-MARCC, según descrito en el artículo 9 de la Ley 33-2019 y las fuentes antropogénicas de emisiones de **gases de efecto de invernadero (GEI)**. Se toman como base las guías establecidas para cada sector del artículo mencionado y los objetivos iniciales de reducción dispuestos en el artículo 5 de la misma ley.

También se tomaron en cuenta los comentarios y recomendaciones surgidos del peritaje del CEACC y del DRNA, así como las recomendaciones recibidas durante un proceso de vistas públicas. Asimismo, se incorporaron los cambios en algunos sectores y otros temas no establecidos en la Ley 33-2019. Se destacan el sector de **ecosistemas terrestres**; el cambio del concepto de "desperdicios" por **residuos sólidos** y el tema de **vivienda** como parte del sector de **infraestructuras**, los de **transporte aéreo** y **transporte marítimo** en **transporte y movilidad**, así como **pesca**, bajo **agricultura y ganadería**. Además, se presenta el tema de la **justicia climática** para el cual se generó una guía, siguiendo la estructura que se ofrece en el artículo 9 de la Ley 33-2019 sobre las guías de los otros sectores descritos, con sus respectivos COA.

En este capítulo se enumeran los COA por sector y los componentes que ayudarán a viabilizar su implantación: **objetivos**, **estrategias**, **entidad responsable**, **costo estimado**, **fuente potencial de financiamiento**, **período aproximado**, **resultado** y **métricas**.

Para cumplir la meta del P-MARCC de lograr un nivel base de adaptación y resiliencia ante el cambio climático, los COA deberán tener medidas encaminadas a propiciar la reducción de la vulnerabilidad y del consumo de recursos y la protección de la vida y la propiedad. Por tal motivo, la base desde la cual se identifican las estrategias de adaptación y resiliencia por sectores es el análisis de los capítulos anteriores.

En el desarrollo de las estrategias de los COA, se han tomado en cuenta diferentes planes agenciales, así como aspectos organizacionales, reglamentarios, fiscales y legales que favorecen o limitan la implantación. También se realizó un análisis de las experiencias o mejores prácticas en Puerto Rico, Estados Unidos y otros países referentes a los sectores. Esto permitió seleccionar aquellas estrategias para cada COA que pueden implantarse en Puerto Rico con el propósito de alcanzar los objetivos y la política pública dispuesta por la Ley 33-2019. Las estrategias se presentan en forma tabular, de manera que se facilite su identificación y seguimiento. Además, se crean nuevas guías siguiendo la estructura de las guías por sectores incluidas en el artículo 9 de la Ley 33-2019.

Las estrategias y medidas de implantación incluidas conllevarán procesos de participación ciudadana y otras iniciativas externas, como acuerdos interagenciales con entidades de los gobiernos estatal y federal, instituciones educativas y acuerdos de colaboración con la empresa privada. Los fondos para implantar las estrategias de mitigación, adaptación y resiliencia podrán provenir de fuentes federales, estatales, municipales y privadas. La implantación de estos cursos de acción deberá priorizar en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas, tomando en consideración las particularidades de las diversas comunidades de Puerto Rico y reconociendo que las manifestaciones y los efectos del cambio climático varían a través de todo el archipiélago.

A continuación, se explican los componentes de la tabla:

- Guías dispuestas en el artículo 9 de la Ley 33-2019 y otras creadas a partir del análisis de los capítulos anteriores.
- COA basados en la política establecida en la Ley 33-2019 según las guías del artículo 9 en los sectores en que aplica, objetivos iniciales de reducción establecidos en el artículo 5 en los sectores donde se aplique, diagnósticos y análisis FODA.
- Mejores prácticas (si aplica), basadas en el análisis de experiencias exitosas que validan la viabilidad de implantación de los COA. Se incluyen solo las referencias.
- Objetivos, basados en los COA.
- Estrategias específicas de mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para Puerto Rico, basadas en los objetivos y proyectos del P-MARCC. En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar a los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.
- Entidad responsable de implantar las estrategias propuestas.
- Costo estimado para ejecutar la estrategia. Las estrategias necesitan unos costos estimados. Será la entidad responsable de ejecutar la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable de las estrategias será la que proveerá un costo estimado cuando no se determine en este plan considerando experiencias previas en y fuera de Puerto Rico, durante la fase previa de implantación de la estrategia.
- Fuente potencial de financiamiento: se recomiendan los fondos como un mecanismo de financiamiento para el P-MARCC, ya que no tiene requisitos de repago y reduce las barreras para el desarrollo de proyectos. Los fondos podrán ser provistos por agencias federales y algunas agencias estatales, para proyectos que cumplan con los objetivos específicos del programa que los provee. Las entidades que pueden ofrecer

el mecanismo varían, destacándose: gobierno municipal, gobierno estatal, gobierno federal e instituciones sin fines de lucro, entre otras. Todos los años surgen oportunidades que permiten recibir fondos para desarrollar programas y estrategias que promueven la mitigación, la adaptación y la resiliencia ante el cambio climático. En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

- Período aproximado de programación del desarrollo de las estrategias propuestas:
  - **corto plazo - 0 a 3 años,**
  - **mediano plazo - 4 a 6 años,**
  - **largo plazo - 7 años o más.**

- Resultado esperado para cumplimiento de la meta del P-MARCC y métricas para evaluar los avances.

Se exhorta a los municipios y otras entidades públicas a alinear sus documentos de normativas y política pública (planes, reglamentos, ordenanzas, entre otros) con el P-MARCC.

**Tabla 7.1.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **energía**.

**A. Adoptar medidas encaminadas a la transición energética a un modelo de energía renovable o alternativa con la eliminación del carbón como fuente de energía, para encaminar el proceso de energía a uno neutro en emisiones de gases de efecto de invernadero, que reduzca la vulnerabilidad del sistema energético y garantice el acceso a la energía como bien común.**

**COA A.1: Establecer mecanismos para hacer viable que el proceso de adquisición de energía sea uno neutro en emisiones, resiliente, continuo y accesible a la población.**

**Mejores prácticas:**

Las mejores prácticas incluyen el cumplimiento de los estándares que se incluyen a continuación:

- Cierre de planta de carbón en Hawái. https://www.hawaiianelectric.com/hawaii-ends-use-of-coal-for-power-generation-as-30-year-contract-with-oahu-plant-winds-down
- *Final Resolution and Order on the Puerto Rico Electric Power Authority Integrated Resource Plan*. https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2020/08/AP20180001-IRP-Final-Resolution-and-Order.pdf
- *Grid Modernization Plan for Puerto Rico*, p. 79 (61). https://recovery.pr.gov/en/documents/Grid%20Modernization%20Plan_20191213%20(2).pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Darles prioridad a los procesos de adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa que consideren la participación pública amplia y accesible, y fomenten el desarrollo de proyectos abiertos y rentables en línea con el camino obligatorio de Puerto Rico hacia el 100 % de energía renovable o alternativa para 2050, según establecido por la Ley 17-2019 [...] | **1.** Implementar los tramos (*Tranches*) de proyectos de energía renovable o alternativa a escala de servicio público (*utility scale*) definidos por el **Negociado de Energía de Puerto Rico (NEPR)** conforme al **Plan Integrado de Recursos[4] (PIR)** de la AEE. | NEPR: evalúa los tramos y las propuestas de licitadores; AEE: aprueba los contratos; LUMA: realiza los estudios de interconexión y determina la entrada de energía renovable [...] | La adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa por medio de un acuerdo de compra de energía (***Power Purchase Agreement* [PPA]**) no conlleva un costo de proyecto; [...] | Fondos propios de las entidades responsables; si es un contrato de un PPA, entonces el financiamiento es por parte de la compañía que provee el servicio | Mediano plazo | **R:** Generar el 100 % de la energía eléctrica con fuentes renovables o alternativas para 2050.<br>**M:** Generar el 40 % de la energía eléctrica con fuentes renovables o alternativas para 2025 y el 60 % de la energía eléctrica a base de fuentes renovables o alternativas para 2040. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar a los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

[4] El Plan Integrado de Recursos se adopta al amparo de los artículos 6.3, 6.20 y 6.23 de la Ley 57-2014, según enmendada, conocida como la Ley de Transformación y Alivio Energético de Puerto Rico; la sección 6C de la Ley 83-1941, según enmendada, conocida como la Ley de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico, y la Ley 38-2017, según enmendada, conocida como la Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme del Gobierno de Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Darles prioridad a los procesos de adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa que consideren la participación pública amplia y accesible, y fomenten el desarrollo de proyectos abiertos y rentables en línea con el camino obligatorio de Puerto Rico hacia el 100 % de energía renovable o alternativa para 2050, según establecido por la Ley 17-2019 (Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico). | **1.** Implementar los tramos (*Tranches*) de proyectos de energía renovable o alternativa a escala de servicio público (*utility scale*) definidos por el **Negociado de Energía de Puerto Rico (NEPR)** conforme al **Plan Integrado de Recursos[4] (PIR)** de la AEE.<br><br>**2.** Coordinar con expertos, agencias y corporaciones las adquisiciones de sistemas de energía renovable o alternativa, y desarrollar procesos y aprendizajes para la mejora continua. Establecer un programa de capacitación para profesionales de sistemas de energía renovable o alternativa. | [...] o alternativa a la red (entre otras responsabilidades)<br><br>DDEC, de acuerdo con la Ley 82-2010, según enmendada, conocida como la Ley de Política Pública de diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico; sección 2.5 | [...] el costo es la compra de energía y se les está pasando a los clientes de la red eléctrica<br><br>Indeterminable | [...] el financiamiento es por parte de la compañía que provee el servicio<br><br>Fondos propios de la entidad responsable | Mediano plazo<br><br>Corto plazo | [...] **M:** Generar el 40 % de la energía eléctrica con fuentes renovables o alternativas para 2025 y el 60 % de la energía eléctrica a base de fuentes renovables o alternativas para 2040.<br><br>**R:** Capacitar en tres años el 100 % de la fuerza laboral.<br><br>**M:** Certificar anualmente a 30 % de los profesionales del campo de la energía. |
| | **3.** Realizar tareas seleccionadas, incluido el análisis de la capacidad de albergar la energía recibida en la red eléctrica, para permitir que los participantes del mercado tomen decisiones informadas y reduzcan la prima de riesgo asociada con el costo de capital.<br><br>**4.** Realizar estudios de interconexión de manera expedita y actualizar los alimentadores del sistema de distribución para que puedan acomodar la demanda de los sistemas de energía renovable o alternativa. | LUMA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Mediano plazo | **R:** Informe de análisis de la capacidad de albergue y tareas seleccionadas.<br><br>**M:** Reducir en 20 % el tiempo de análisis de interconexión de los sistemas (*utility scale*).<br><br>**M:** Completar 80 % de las actualizaciones de los alimentadores. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Darles prioridad a los procesos de adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa que consideren la participación pública amplia y accesible, y fomenten el desarrollo de proyectos abiertos y rentables en línea con el camino obligatorio de Puerto Rico hacia el 100 % de energía renovable o alternativa para 2050, según establecido por la Ley 17-2019 (Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico). | **5.** Hacer hincapié en el suministro de energía de bajo costo (que a nivel mundial es ahora la energía renovable o alternativa) para mantener bajos los costos de la red y garantizar un acceso justo y económico. | NEPR, de acuerdo con lo establecido en la Ley 57-2014, según enmendada, conocida como la Ley de Transformación y Alivio Energético de Puerto Rico, artículo 6.25B | Se determinará según la subvención aplicable del Departamento de Energía federal (DOE) | Fondos propios de las entidades responsables y fondos del DOE y USDA | Mediano y largo plazo | **R:** El 100 % de los clientes residenciales con sistemas de energía de bajo costo instalados para 2040.<br>**M:** Al menos el 30 % de los clientes residenciales con sistemas de bajo costo para 2030. |
| **A.1.2** Permitir que todas las tecnologías alineadas con la ruta de descarbonización de Puerto Rico compitan. Darle prioridad al uso de las tecnologías que respalden los objetivos relacionados con proteger el medioambiente, la justicia climática y el uso eficiente de la infraestructura. | **1.** Determinar la mejor manera de utilizar los recursos existentes (energía hidroeléctrica, solar y oceanotérmica, almacenamiento de energía, infraestructura de la red existente, microrredes y otros activos) para minimizar los costos.<br>**2.** Propiciar la participación de la comunidad en los procesos de adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa.<br>**3.** Esta acción debe hacerse en coordinación con el estudio PR100 del Departamento de Energía federal, el proceso del PIR y otros estudios. | NEPR: evalúa y autoriza nuevas fuentes de generación según establecido en la Ley 82-2010, artículo 2.13 | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Mediano plazo | **R:** Reducción de los costos y mayor participación de la ciudadanía.<br>**M:** Costo de los sistemas de energía renovable o alternativa por debajo del promedio nacional ($ / KW).<br>**M:** Mayor participación de la ciudadanía anualmente con un incremento de 10 %. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.3** Transformar el sistema de una generación de energía a base de combustibles fósiles a no fósiles (ej., hidrógeno verde) y con fuentes de energía renovable o alternativa. | **1.** Eliminar el uso del carbón como fuente para la generación de energía.[5] | NEPR: se asegura de que el contrato de AES no sea renovado después del 31 de diciembre de 2027 para la utilización de carbón; AEE / AES (planta generatriz): deben cumplir con la Ley 17-2019 y la Ley 33-2019 | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Cierre de la planta generatriz de AES en Guayama en diciembre de 2027, según dispuesto por ley.<br>**M:** En diciembre de 2026, terminar de construir uno o más sistemas de energía renovable o alternativa para suplir la demanda de electricidad que genera la AES. |
| | **2.** Decomisar las unidades de generación que operan con combustibles fósiles y que hayan concluido su vida útil, según identificadas en el PIR.<br>**3.** Realizar un estudio sobre la utilización de hidrógeno verde para la generación de energía, incluyendo el impacto del aumento del nivel del mar para las centrales costeras. | NEPR: asegurar el cumplimiento del PIR; AEE / Genera PR: proceder con el retiro de las unidades y realizar estudio sobre la utilización de hidrógeno verde para la generación de energía | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Largo plazo (7 a 10 años) | **R:** Sustituir con energía renovable o alternativa 3,600 MW que hoy provienen de combustibles fósiles.<br>**M:** Sustituir con energía renovable o alternativa 1,800 MW que hoy provienen de combustibles fósiles, en 5 años. |

[5] Este es un tema transversal que incide la mitigación de fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto de invernadero (Tabla 6.1). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA y estrategias incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## B. Impulsar políticas de eficiencia y ahorro energético. Para ello, se debe diseñar un modelo de tarifas que penalice el sobreconsumo energético.

### COA B.1: Establecer un programa de eficiencia energética.[6]

**Mejores prácticas:**

- Programa de eficiencia energética del estado de Vermont. https://puc.vermont.gov/energy-efficiency-utility-program
- Propuestas de política pública presentadas sobre Puerto Rico. https://reospartners.com/projects/puerto-ricos-energy-transformation/
- *Energy Efficiency Targets and Cost Effectiveness: Experience in Arkansas*. https://drive.google.com/drive/folders/19tDS2QMGboM4o3rXTK-jsYqlno3i5uZU
- *Grid Modernization Plan For Puerto Rico*, p. 82 (64). https://recovery.pr.gov/en/documents/Grid%20Modernization%20Plan_20191213%20(2).pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir paulatinamente la demanda de energía eléctrica en Puerto Rico.<br><br>**B.1.2** Identificar las actividades de mayor consumo energético (20 % de las actividades que consumen 80 % de la energía).<br><br>[...] | **1.** Participar en un proceso público colaborativo y multisectorial que incluya a defensores de la comunidad y miembros clave de la industria y del sector de la filantropía con el objetivo de desarrollar soluciones que permitan un modelo de financiamiento híbrido para la eficiencia energética.<br><br>**2.** Considerar el uso de programas de eficiencia energética de estilo *Rapid Start* con el fin de crear beneficios inmediatos para los contribuyentes. | NEPR y LUMA[7] | $20 millones en el primer año de operación del Programa de Eficiencia Energética | SEP-PPPE del DDEC<br><br>Factura de electricidad[8] | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Reducir la demanda de energía en 10 % para 2034.<br><br>**M:** Reducir anualmente la demanda de energía eléctrica en 1 % por diez años, como requiere la Ley 33-2019. |

[6] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructuras (sección 7.2). Aunque el curso de acción y algunas de sus estrategias se asemejan a otros COA y estrategias incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[7] El Negociado de Energía podrá requerir a LUMA establecer programas de eficiencia energética dirigidos a alcanzar la meta planteada en este curso de acción. Para ello, LUMA podrá utilizar los servicios de un tercero que maneje los programas de eficiencia energética y le asista en la fiscalización del cumplimiento de las metas anuales establecidas mediante reglamento. Véase el artículo 1.6(11) de la Ley 17-2019, según enmendada, conocida como la Ley de Política Pública Energética.

[8] El primer año de implementación del Programa de Eficiencia Energética se está evaluando con el DOE para determinar si se puede financiar con fondos del Programa de Energía del Estado (***State Energy Program*** **[SEP]**), administrado por el **Programa de Política Pública Energética (PPPE)** del DDEC. Después del primer año de operación del Programa de Eficiencia Energética, la fuente de financiamiento será el cargo aprobado en la factura de electricidad (*Rider*) para eficiencia energética.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir paulatinamente la demanda de energía eléctrica en Puerto Rico.<br><br>**B.1.2** Identificar las actividades de mayor consumo energético (20 % de las actividades que consumen 80 % de la energía).<br><br>**B.1.3** Definir una meta para reducir la intensidad energética que sea específica, medible, alcanzable, relevante y completada en menos de 5 años.<br><br>**B.1.4** Desarrollar pautas de eficiencia energética que se apliquen a todos los clientes.<br><br>**B.1.5** Desarrollar programas de eficiencia energética e identificar fuentes de financiamiento públicas y privadas, incluidos, entre otros, programas respaldados por los contribuyentes.<br><br>**B.1.6** Promover la educación en eficiencia energética a través de los medios de comunicación y las redes sociales. | **3.** Proveer fondos o subsidios para la instalación de calentadores solares en residencias unifamiliares. | DV | $5,000 por residencia | Fondos propios de las entidades responsables | Largo plazo (10 años) | **R:** Instalación de calentadores solares en todas las residencias unifamiliares en 10 años.<br><br>**M:** Instalar 50,000 calentadores solares al año. |
| | **4.** Proveer fondos o subsidios para la instalación o remplazo de equipos eficientes en residencias. | DDEC / PPPE | $8,250 por residencia | Fondos del **WAP (*Weatherization Assistance Program*)** del DOE | Largo plazo | **R:** Climatizar residencias de familias que viven bajo el nivel de pobreza.<br><br>**M:** Climatizar anualmente más de 200 residencias de familias bajo el nivel de pobreza. |

## C. Promover las energías renovables o alternativas, que deben desarrollarse, siempre que sea posible, aprovechando espacios ya alterados por la actividad humana, con el fin de minimizar la ocupación innecesaria del suelo.

**COA C.1: Desarrollar un instrumento que fomente la energía renovable o alternativa de manera planificada optimizando el uso del suelo, con prioridad para los espacios ya impactados por la actividad humana.**

**Mejores prácticas:**

- *Feasibility Study of Solar Photovoltaics on Landfills in Puerto Rico*. https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52181.pdf
- *The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons From the InSPIRE Research Study*. https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83566.pdf
- *Sustainable, Resilient Coffee Farming in Puerto Rico*. https://twendesolar.org/puerto-rico

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Establecer guías a fin de determinar el uso de terrenos y espacios propicios para la generación de energía renovable o alternativa sin afectar terrenos agrícolas, cuerpos de agua, sumideros, el área del karso ni los humedales.[9] | **1.** Las guías que se desarrollarán deberán tener como requisito las siguientes estrategias:<br>**a.** Utilizar terrenos en áreas de vertederos para la instalación de sistemas fotovoltaicos.<br>**b.** Instalar sistema de paneles solares sin afectar áreas agrícolas o de ganadería.<br>**c.** Instalar sistemas de paneles solares a una altura mayor de 8 pies en áreas donde se pueden sembrar ciertos alimentos que no requieran luz solar directa y que no sean árboles. | JP[10] | Sistemas de energía solar en vertederos (incluyendo Vieques): $200 millones<br>Costo de sistemas *utility scale;* si es PPA, no habría costo | AAPP y PPA | Largo plazo (7 a 10 años) | **R:** Guías desarrolladas.<br>**M:** Producción de energía anual estimada en vertederos: 60,000 MWh. Producción de energía con sistemas que no impactan la agricultura: 3.7 TWh / año. |

[9] Este es un tema transversal que incide en los sectores de infraestructuras (sección 7.2) y de agricultura y ganadería (sección 7.6). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[10] JP es la agencia responsable de determinar la planificación, uso y manejo de terrenos en Puerto Rico. DA, AEE, AAPP, LUMA y el DRNA deberán velar que los proyectos cumplan con el PUT. NEPR: evalúa los tramos y las propuestas de licitadores; AEE y Autoridad de Alianzas Público-Privadas (AAPP), de acuerdo a la Ley 29-2009, según enmendada, conocida como la Ley de Alianzas Público-Privadas: aprueba contratos; LUMA: realiza estudios de interconexión y determina la entrada de energía renovable o alternativa a la red (entre otras responsabilidades).

## D. Estimular un modelo energético cuyo fin sea eliminar el consumo de combustibles fósiles para alcanzar mayor participación de las energías renovables o alternativas en el sistema eléctrico.

**COA D.1: Transformar el sistema de generación de energía a uno basado en combustibles no fósiles o fuentes de energía renovable o alternativa con almacenamiento (baterías).**

**Mejores prácticas:**

- Iniciativas de eficiencia y energía solar adoptadas por el estado de Hawái. https://energy.hawaii.gov/what-we-do/financial-assistance-and-grants/financial-assistance-resources/energy-efficiency-programs-rebates-and-solar-initiatives/
- Proyecto de energía solar de Montserrat. https://www.gov.ms/2022/05/25/powering-montserrat-with-solar-energy/
- *Grid Modernization Plan for Puerto Rico.* https://recovery.pr.gov/en/documents/Grid%20Modernization%20Plan_20191213%20(2).pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Establecer un plan para identificar las centrales eléctricas más eficientes y cambiar a combustibles no fósiles (ej., hidrógeno verde). Ese plan debe incluir: el tipo de combustible a usar, una estimación del costo y una estimación del tiempo para completar el proyecto. | **1.** El desarrollo del plan deberá tener en cuenta las siguientes estrategias:<br>**a.** Utilizar un análisis exhaustivo del sistema a nivel de distribución al realizar procesos de planificación de recursos integrados, con énfasis en la comprensión de la variabilidad de la ubicación en los costos y las limitaciones del servicio.<br>**b.** Primero, examinar las opciones de eficiencia energética en el proceso de planificación y permitir la consideración posterior de los recursos existentes (energía solar, hidroeléctrica y eólica, y combustibles fósiles heredados), mientras se considera cómo integrar mejor las oportunidades de baterías y vehículos eléctricos en una variedad de usos. Luego, utilizar el PIR para organizar reuniones comunitarias amplias e inclusivas de las partes interesadas, a fin de recopilar información y refinar el proceso de planificación.<br>**c.** Considerar todas las opciones relevantes para las plantas de energía y los programas de eficiencia (permitiendo una competencia justa entre todos) y considerar los datos históricos sobre la variabilidad del cronograma y el costo, así como el precio del combustible y el riesgo de la cadena de suministro.<br>**d.** Refinar los resultados con un análisis de sensibilidad exhaustivo.<br>**e.** Llevar a cabo el plan de retirar las unidades generatrices más ineficientes, según establecido en el PIR. | NEPR: asegura cumplimiento con el PIR; AEE / Genera PR: procede con el retiro de las unidades ineficientes, realizar un estudio sobre la utilización de hidrógeno verde ($H_2$) para producir energía y establecer un plan para integrar el $H_2$ verde, de ser costoefectivo | Los costos de los estudios para las primeras estrategias (a-c) pueden superar $800,000<br>El costo de implantación dependerá de los resultados del Estudio | Ya presupuestado en el proceso y compromiso estándar del PIR | Largo plazo (10 años) | **R:** Remplazar la producción de energía a base de combustibles fósiles por energía renovable o alternativa.<br>**M:** Porcentaje de energía renovable o alternativa por período: 2023 a 2025, 40 %; 2026 a 2040, 60 %; 2041 a 2050, 100 %; según establecido en la Cartera de Energía Renovable (Ley 82-2010). |

## E. Adoptar medidas que favorezcan y propicien el autoconsumo energético a base de energías renovables o alternativas y la participación de actores locales en su producción y distribución.

### COA E.1: Fomentar el uso de sistemas de energía renovable o alternativa y permitir que los clientes sean prosumidores para alentar el uso de estos sistemas.

**Mejores prácticas:**

- *Green Mountain Power, Vermont*. https://greenmountainpower.com/rebates-programs/home-energy-storage/bring-your-own-device/
- Plantas Virtuales en California y Hawái. http://www.ililani.media/2022/06/virtual-power-plants-in-california-and.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Racionalizar la fijación de precios para el autoconsumo de energía utilizando el valor total y el costo de los recursos distribuidos, y alentar el uso total de los incentivos federales y otros para acelerar la adopción individual. Fomentar proyectos piloto de nuevas tecnologías y desarrollar asociaciones corporativas clave. | **1.** Evaluar la estructura tarifaria existente conforme a la generación de energía renovable o alternativa actual y futura. Tomar en consideración los datos para refinar la fijación de precios y los incentivos para los recursos de energía distribuidos. Llevar a vistas públicas las tarifas propuestas.<br>**2.** Enfatizar el papel de los clientes tanto en la respuesta a la demanda como en la flexibilidad de la demanda para beneficiar a la red y mejorar la confiabilidad.<br>**3.** Fomentar el uso de plantas de energía virtuales (VPP, por sus siglas en inglés), para vincular a muchos clientes y proporcionar servicios completos a la red eléctrica (y desplazar rápidamente a las centrales eléctricas de combustibles fósiles).<br>**4.** La reducción en la compra de combustible, debido al aumento en la producción de energía renovable o alternativa, puede utilizarse para subsidiar los VPP, así como los programas de eficiencia energética y de respuesta a la demanda. | NEPR: según establecido en la Ley 57-2014, artículo 6.25A, y también evaluará el establecimiento de las VPP; Ramas Ejecutiva y Legislativa del Gobierno de Puerto Rico: establecen los subsidios a ser incluidos en la factura de electricidad por medio de legislación y aprobación del proyecto de Ley; LUMA: establecerá el programa de VPP | No hay costo de implantación | Redefinir los subsidios en la factura de electricidad y subsidiar a clientes de bajo y mediano ingreso con sistemas de energía renovable o alternativa | Corto plazo | **R:** Participación total, valor de los servicios de la red y puntuaciones de satisfacción del cliente.<br>**M:** Incremento de 10 % anual en clientes con sistemas de energía renovable o alternativa.<br>**M:** 20 % de reducción de la demanda pico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.2** Promover que los clientes de escasos y medianos recursos tengan acceso a sistemas de energía renovable a un costo mínimo, que cubran sus necesidades básicas y que sean resilientes. | **1.** Fase I: identificar a los beneficiarios según criterios de selección e instalarles sistemas de energía renovable en techos o áreas aptas en donde se pueda obtener la mayor generación de energía. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe o la agencia gubernamental concernida no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto). | DOE (*PR Grid Modernization and Recovery Office*) | $20,000 por hogar | $1,000 millones del Fondo de Resiliencia Energética de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Proveer energía renovable a todas las residencias de personas en desventaja socioeconómica, en 5 años.<br>**M:** Proveer energía renovable a 100,000 residencias de personas en desventaja socioeconómica, anualmente. |
| | **2.** Fase II: establecer medidas e identificar fondos para la instalacion de sistemas de energía renovable a toda la población de residentes. Incluir pequeños y medianos negocios. | Ramas Ejecutiva y Legislativa del Gobierno de Puerto Rico; DDEC[11] | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Largo plazo (7 a 10 años) | **R:** Facilitar la instalación de sistemas de energía renovable a 100 % de las residencias y a las pymes a largo plazo.<br>**M:** Al menos 100,000 de los clientes beneficiados con sistemas de energía renovable anualmente. |

[11] Ramas Ejecutiva y Legislativa del Gobierno de Puerto Rico: identificar fondos y proveer incentivos contributivos para la adqusicion de sistemas de energía renovable; DDEC: mediante el Programa de Apoyo Energético, identificar fondos recurrentes para seguir impactando a las pymes en la instalación de sistemas de energía renovable.

## F. Fomentar la generación de energía distribuida y nuevas opciones de distribución y contratación de suministros, así como la implantación de redes de distribución de energía inteligentes y redes cerradas.

**COA F.1: GenCo / GridCo. Establecer un objetivo definido para la transición de un sistema centralizado a sistemas de microrredes con fuentes de energía renovable o alternativa y almacenamiento de energía. Las microrredes son sistemas de generación de energía locales, independientes de la red e inteligentes.**

**Mejores prácticas:**

- Programa de incentivos de microrredes de California. https://www.cpuc.ca.gov/news-and-updates/all-news/cpuc-charts-course-for-microgrid-incentive-program-to-increase-community-resilience-2023

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Identificar los sectores más críticos que serán parte del programa de microrred (hospitales y centros de salud, escuelas, empresas, industrias y agencias que brindan servicios críticos). Identificar las áreas de mayor costo donde los servicios de la red puedan ampliarse con microrredes.<br><br>[...] | **1.** Utilizar procesos de planificación a nivel de distribución con el fin de identificar segmentos de la red congestionados y de alto costo para enfocar los esfuerzos de la microrred, al tiempo que se asegura la participación pública y abierta (con límites para evitar procesos de licitación injustos, como la publicación de datos antes de adquisiciones abiertas).<br><br>**2.** Considerar también los sectores de transporte clave, incluidos los aeropuertos, con el potencial de incluir el combustible de aviación sostenible.[12]<br><br>**3.** Integrarse con los esfuerzos continuos a nivel comunitario y con apoyo filantrópico, incluidos los que se están realizando en Vieques y Culebra, y recopilar información sobre métodos para evitar cualquier efecto adverso en el medioambiente.<br><br>**4.** Priorizar el uso de los recursos existentes (generación instalada), la eficiencia energética y la infraestructura existente (techos, estacionamientos, almacenes, etcétera).[13]<br><br>[...] | NEPR - Según establecido en el Reglamento 9028; Reglamento para Desarrollo de Microrredes<br><br>[...] | $1.2 millones - $2 millones | *USDA Rural Development: Powering Affordable Clean Energy* (PACE), *Empowering Rural America* (NEW ERA) | Largo plazo (7 a 10 años) | **R:** Proveer sistemas de microrredes a todos los sectores más críticos en cinco años.<br><br>**M:** Cubrir al menos 160 áreas a nivel de Puerto Rico.<br><br>**M:** Suplir al menos 300 MW a cargas críticas y 400 MW a cargas no críticas. |

[12] Este es un tema transversal que incide en el sector de transporte y movilidad (sección 7.3). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[13] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructuras (sección 7.2). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [...]<br><br>**F.1.2** Identificar fuentes de energía renovables o alternativas para abastecer las microrredes (solar, eólica, hidroeléctrica, hidrógeno verde, oceanotérmica, energía de las olas, etcétera). Estas fuentes de energía deben ser costoefectivas y no tener un efecto adverso en el medioambiente (sistemas de agua, agricultura, estuarios, zona del karso, bosques y humedales, entre otros). | [...]<br><br>**5.** Aprovechar los programas en curso, como el esfuerzo solar residencial del Departamento de la Vivienda para habilitar las capacidades de las microrredes.<br><br>**6.** Evaluar completamente el potencial de instalar nuevas tecnologías, incluidos los métodos para aprovechar los fondos de las subvenciones federales destinados a la innovación y los de la Ley de Reducción de la Inflación y la Ley de Infraestructura. | [...]<br><br>LUMA - Realizar estudios de interconexión y facilitar el proceso de suministro de energía de fuentes renovables o alternativas | $1.2 millones - $2 millones | *USDA Rural Development: Powering Affordable Clean Energy* (PACE), *Empowering Rural America* (NEW ERA) | Largo plazo (7 a 10 años) | **R:** Proveer sistemas de microrredes al 100 % de los sectores más críticos en cinco años.<br><br>**M:** Cubrir al menos 160 áreas a nivel de Puerto Rico.<br><br>**M:** Suplir al menos 300 MW a cargas críticas y 400 MW a cargas no críticas. |
| **F.1.3** Integrar los sistemas de microrred a la red principal, al tiempo que se garantiza la seguridad, la confiabilidad y el acceso equitativo. | **1.** Confiar en un proceso de planificación integrado, con énfasis en el nivel de distribución (planificación de abajo arriba), y enfatizar en los beneficios de la respuesta a la demanda a través de la interoperabilidad de las microrredes. | LUMA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | | |
| **F.1.4** Establecer un plan que contenga la ubicación geográfica de la microrred, número de clientes, capacidad, costo de implantación, operación y mantenimiento, así como la fecha estimada de inicio de operación. | **1.** Realizar un análisis a nivel de sistema utilizando herramientas que permiten optimizar múltiples variables en múltiples escalas de tiempo. | LUMA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | |

## G. Incorporar los objetivos de reducción de emisiones establecidos por la Ley 33-2019.

**COA G.1: Transformar el sistema de generación de electricidad a base de energía renovable o alternativa o hidrógeno verde (producido por fuentes de energía renovable o alternativa) y establecer un plan para ir decomisando las plantas generatrices según eficiencia y años de servicio.**

**Mejores prácticas:**

- Base de datos de la EPA *eGrid*. https://www.epa.gov/egrid/power-profiler#/PRMS

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Según establece la Ley 33-2019:<br><br>1. Impulsar medidas para colaborar en mantener el calentamiento global inferior a los 35.6 °F (2 °C) por encima de los niveles preindustriales.<br><br>2. Lograr una reducción del 50 % de las emisiones de gases de efecto de invernadero en los próximos cinco años, de manera real, permanente, cuantificable y comprobable.<br><br>3. Reducir el consumo general de energía en al menos 1 % anual, a partir de 2020, hasta lograr una reducción de 10 % para 2030 en función de la densidad poblacional.<br><br>[...] | **1.** Asegurarse de que estos objetivos de reducción de emisiones se incluyan en todos los esfuerzos de planificación de las agencias y los servicios públicos, con énfasis en el uso de programas que se amplíen rápidamente (como la eficiencia energética) para cumplir múltiples objetivos (por ejemplo, consumo de energía y emisiones). Aprovechar los programas existentes, como el Programa de Energía del Estado. | Oficina del Gobernador y DDEC: de acuerdo a lo establecido en la Ley 17-2019, artículo 1.5. | $200,000 | Fondos del SEP | Mediano plazo | **R:** Reducir los niveles de las emisiones de GEI de forma real, permanente, cuantificable y verificable en 50 % en los próximos 5 años.<br><br>**M:** Reducir 10 % anual por los próximos 5 años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Según establece la Ley 33-2019:<br><br>[...]<br><br>4. Eliminar el uso de combustibles fósiles en el sector energético, especialmente el carbón, para la generación de energía y, en su lugar, promover el uso de energías renovables o alternativas. Para lograrlo, se impulsarán políticas públicas con el propósito de lograr 20 % de generación de energía a partir de fuentes renovables o alternativas para el año 2022; 40 % de 2023 a 2025; 60 % de 2026 a 2040, y 100 % de 2041 a 2050 conforme a la nueva Cartera de Energía Renovable establecida en la Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico y la Ley 82-2010, según enmendada. | **2.** Alinear todas las adquisiciones de sistemas de energía renovable o alternativa con estos objetivos de emisiones, así como con los detalles de la Ley 17-2019.<br><br>**3.** Revisar y considerar el progreso frente a los objetivos y examinar formas de acelerar la transición a fuentes de energía con cero emisiones de carbono. | NEPR: ente regulador; Genera PR: generación; LUMA: transmisión / distribución y sistemas de energía renovable o alternativa | Indeterminable | Dentro de los objetivos para reducir las emisiones se encuentra la adquisición de sistemas de energía renovable o alternativa a gran escala; estos proyectos cuentan con financiamiento privado | Mediano plazo | **R:** Reducir los niveles de las emisiones de GEI de forma real, permanente, cuantificable y verificable en 50 % en los próximos cinco (5) años.<br><br>**M:** Reducir 10 % anual por los proximos cinco años. |

**COA G.2: Desarrollar la infraestructura eléctrica requerida (generación y transmisión/distribución) para apoyar la demanda de energía a consecuencia del aumento en el número de vehículos eléctricos.**

**Mejores prácticas:**

- *Electric vehicles prove they can handle police work*. https://www.police1.com/police-products/vehicles/patrol/articles/electric-vehicles-prove-they-can-handle-police-work-kh6xMkZRKTGuuZzF/
- Autos eléctricos: impacto a la infraestructura eléctrica para 2035. https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2022/01/Presentacion-al-Negociado-sobre-Infraestructura-Para-Cargadores-Electricos-9-23-2021.pdf
- Orden y Resolución del NEPR sobre la infraestructura de cargadores para vehículos eléctricos. https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2023/06/20230606-MI20210013-Resolution-and-Order.pdf
- *State Plan for Electric Vehicle Infrastructure Deployment.* https://act.dtop.pr.gov/wp-content/uploads/2022/07/2022-07-18_NEVI-for-Stakeholders_English_.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.2.1** Fortalecer la infraestructura eléctrica de Puerto Rico para que pueda suplir la demanda debido a los vehículos híbridos (*Plug-In*) y eléctricos.<br><br>Se deben incluir las modificaciones necesarias al sistema eléctrico sin afectarlo de manera que los dueños de vehículos híbridos o eléctricos puedan cargar esos autos en sus residencias, áreas de trabajo o áreas de entretenimiento y comidas. | **1.** Establecer una tarifa de tiempo de uso (TOU, por sus siglas en inglés) para los dueños de vehículos eléctricos. Esta tarifa será preferencial a un costo menor para incentivar la carga de vehículos durante el período de hora no-pico (10:00 p. m. a 6:00 a. m.). | NEPR: encargado de evaluación de tarifas; LUMA - implantación | No hay costo asociado a esta estrategia | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Fomentar la carga de vehículos híbridos y eléctricos durante períodos no-pico.<br><br>**M:** Reducir en 50 % la demanda pico y observar ese mismo aumento en el período no-pico. Establecer una comparativa a base de los datos históricos y datos de las mediciones de energía. |
| | **2.** Aumentar la capacidad de los transformadores en las urbanizaciones y otras áreas de vivienda.<br><br>**3.** Establecer permisos expeditos para proyectos de aumento de carga en subestaciones de condominios, comercios y edificios sin ascensor (*walk-ups*). | LUMA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable o fondo federal del DOE | Mediano plazo | **R:** Remplazo de transformadores a unos de mayor capacidad (>80 KVA).<br><br>**M:** Remplazar más de 75 % de los transformadores en las áreas urbanas en 5 años. |
| | **4.** Remplazar por etapas la flota de transporte masivo con unidades eléctricas o que funcionen con hidrógeno verde.[14] | DTOP | Indeterminable | USDOT | Largo plazo (7 años) | **R:** Remplazo de las flotas de vehículos de transportación masiva.<br><br>**M:** 100 % de la flota reemplazada en 7 años. |

[14] Este es un tema transversal que incide en el sector de transporte y movilidad (sección 7.3). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.2.1** Fortalecer la infraestructura eléctrica de Puerto Rico para que pueda suplir la demanda debido a los vehículos híbridos (*Plug-In*) y eléctricos.<br><br>Se deben incluir las modificaciones necesarias al sistema eléctrico de manera que los dueños de vehículos híbridos o eléctricos puedan cargar esos autos en sus residencias, áreas de trabajo o áreas de entretenimiento y comidas sin afectar el sistema eléctrico. | **5.** Transformar la flota de vehículos del gobierno central, agencias e instrumentalidades, así como de la legislatura y gobierno municipal. | ASG | Indeterminable | Fondos federales, estatales y municipales disponibles para la compra de la flota vehicular según la necesidad de cada entidad | Mediano plazo | **R:** Ir remplazando flota de vehículos del gobierno central, agencias e instrumentalidades, gobierno municipal y legislatura a vehículos híbridos o eléctricos.<br><br>**M:** Reemplazo de 100 % de la flota para 2028. |
| | **6.** Propiciar la transición de la flota de vehículos privados de gasolina o diésel a vehículos eléctricos. | Ramas Legislativa y Ejecutiva del GPR, DTOP y DH | Indeterminable | Fondos de IRA | Largo plazo (7 años o más) | **R:** Eliminar la venta de todo vehículo de motor de combustión interna.<br><br>**M:** Establecimiento de incentivos para la compra de vehículos híbridos y eléctricos. |
| | **7.** Comisionar un estudio de mercadeo para determinar el inventario de vehículos eléctricos en Puerto Rico y la proyección para 2050. Este estudio debe incluir la demanda de energía necesaria para la carga de los vehículos y la distribución de cargadores a través de toda la isla. | DDEC | $100,000 | Fondos del SEP | Corto plazo | **R:** Estudio sobre el inventario de vehículos eléctricos disponible para análisis.<br><br>**M:** El estudio debe mostrar: cantidad de vehículos híbridos y eléctricos, estimado de vehículos para 2050 y la demanda de energía actual y futura hacia 2050. |
| | **8.** Instalar cargadores de vehículos eléctricos a lo largo de las principales vías del país (PR-2 de Hatillo a Ponce, PR-52 y PR-22). Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe o la agencia gubernamental concernida no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto). | DTOP | $12.5 millones en 5 años | Fondos de *National Electric Vehicle Infrastructure* (NEVI, por sus siglas en inglés) | Mediano plazo | **R:** Cargadores de vehículos eléctricos instalados y funcionales según las guías de NEVI.<br><br>**M:** Cargadores funcionales más de 97 % del tiempo. |

**Tabla 7.2.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **infraestructuras**.

**A. Incentivar y promover que las estructuras sean diseñadas, construidas y certificadas por algún estándar de conservación de energía, consumo de agua y ventilación, tales como las siguientes entidades: *Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System* (LEED), las guías de medición establecidas por el *Green Building Council*, tales como el *Performance Excellence in Electricity Renewal* (PEER), los estándares de consumo de energía y ambiente de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) o los del Código Internacional de Conservación de Energía u otro estándar desarrollado por una entidad sin fines de lucro y aceptado ampliamente por la comunidad científica. Se desarrollará un Código de Construcción resiliente yse deberá evaluar la necesidad y conveniencia de integrar en este el *Green Code* de la *International Code Council* o la adopción de reglamentación similar apropiada para Puerto Rico.**

**COA A.1: Impulsar y adoptar sistemas de certificación, además de secciones de diversos códigos de construcción verde como parte del Código de Construcción de Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

Las mejores prácticas incluyen el cumplimiento de los estándares que se incluyen a continuación:

- *LEED v 4.1, USGB*. https://www.usgbc.org/leed/v41
- *LEED certification fees, USGB.* https://www.usgbc.org/tools/leed-certification/fees
- *New homes and apartments, Energy Star*. https://www.energystar.gov/newhomes
- *Standard 90.1, ASHRAE*. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1
- *Energy Efficiency Guides for Existing Commercial Buildings, ASHRAE*. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/energy-efficiency-guides-for-existing-commercial-buildings
- *Standard 100-2015 Energy Efficiency in Existing Buildings, ASHRAE*. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-100

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Incorporar sistemas de certificación y secciones de otros códigos y estándares de la industria como parte del Código de Construcción de Puerto Rico. [...] | **1.** Requerir la certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED de certificación de edificios sostenibles del *US Green Building Council* (USGBC) en las siguientes tipologías edilicias:[4] edificios de oficinas, institucionales, universitarios, de industrias y de centros comerciales, así como cualquier construcción de edificios de 30,000 **pies cuadrados (PC)** o más, o usos agregados de una misma institución igual o mayor a los 30,000 PC. [...] | LUMA<br>[...] | $10,000 - $25,000 por edificio | DV y OGPe | Corto plazo | **R:** Certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED requerida por la OGPe.<br>[...] |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

[4] Este término se utiliza para clasificar los diferentes tipos o modelos de edificios en la industria del diseño y la construcción. Ejemplos de tipologías edilicias incluyen, entre otros: viviendas, aeropuertos, supermercados, oficinas, escuelas, fábricas, iglesias, hospitales, funerarias, farmacias y gasolineras.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Incorporar sistemas de certificación y secciones de otros códigos y estándares de la industria como parte del Código de Construcción de Puerto Rico. | **1.** Requerir la certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED de certificación de edificios sostenibles del *US Green Building Council* (USGBC) en las siguientes tipologías edilicias: edificios de oficinas, institucionales, universitarios, de industrias y de centros comerciales, así como cualquier construcción de edificios de 30,000 **pies cuadrados (PC)** o más, o usos agregados de una misma institución igual o mayor a los 30,000 PC. Las escuelas públicas y privadas y la vivienda quedarán exentas de este requerimiento, pero cumplirán con los criterios de otros programas a designarse. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya seamediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | LUMA<br><br>LUMA, como agente de la AEE, es la entidad responsable de evaluar e implementar el sistema de certificación para operación y mantenimiento de edificios existentes del programa LEED de USGBC. | $10,000 - $25,000 por edificio | DV y OGPe | Corto plazo | **R:** Certificación de edificios verdes en la categoría *Silver* de la versión más reciente del sistema LEED requerida por la OGPe.<br><br>**M:** Comparar la cantidad de edificios certificados LEED *Silver* previa y luego de la aprobación de este plan para que cada año sea mayor. Debe superar o igualar 10 % anualmente en nuevas certificaciones. |
| | **2.** Adoptar las secciones aplicables del *International Energy Conservation Code* y de los estándares de ASHRAE al Código de Construcción de Puerto Rico con las enmiendas necesarias para ajustarlo a nuestra realidad climática y económica. | OGPe | $100,000 | DV y OGPe | Corto plazo | **R:** Código de Construcción de Puerto Rico con secciones aplicables del *International Energy Conservation Code* y de los estándares de ASHRAE.<br><br>**M:** Comparar la cantidad de edificios con permisos de construcción previa y luego de la aprobación de este plan para que cada año sea mayor. Debe superar o igualar 10 % anualmente en nuevas certificaciones. |

**B. Estimular que cualquier construcción, reconstrucción, rehabilitación y / o [*sic*] mejora a una estructura existente promueva la utilización de sistemas eficientes de consumo de energía, agua y de ventilación o aquellos diseñados para reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero concediéndole un crédito del costo del equipo debidamente aprobado.**

**COA B.1: Desarrollar programas para viviendas que viabilicen la compra e instalación de equipos de alta eficiencia energética y de agua.**

**Mejores prácticas:**

- Programa *Energy Star* de la EPA: *Energy Star, 2019 Status Update, EPA*. https://www.epa.gov/vcs/energy-star
- Programa *WaterSense* de la EPA: *WaterSense, EPA*. https://www.epa.gov/watersense

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Propiciar la reducción en el consumo de energía y de agua a nivel residencial mediante estrategias de descarbonización, resiliencia y sostenibilidad. | **1.** Requerir en toda nueva vivienda el uso de enseres electrodomésticos con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. Este programa ayudará a reducir la demanda de energía de estos equipos en ± 20 %. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | OGPe | Nominal | DV | Corto plazo | **R:** Reducción en el consumo de energía y de agua a nivel residencial por el uso de aparatos y equipos eficientes.<br>**R:** Aumento de viviendas con los equipos de los programas.<br>**M:** Porcentaje de aumento en ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. Porcentaje de reducción del consumo anual de energía y de agua en viviendas bajo los programas mayor o igual a 10 %.<br>**M:** Porcentaje del aumento de viviendas con los equipos de los programas cada mayor. Debe superar o igualar 10 % anualmente en nuevas viviendas. |
| | **2.** Fomentar e incentivar en viviendas existentes el remplazo de aparatos y equipos eléctricos por otros con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. Desarrollar una campaña educativa sobre las mejores prácticas para reducir la generación eléctrica en viviendas existentes y el mejor uso y mantenimiento de equipos Energy Star.<br>Colaborador potencial: AEE. | NEPR | $100,000 (programa de educación a consumidores) | | | |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Propiciar la reducción en el consumo de energía y de agua a nivel residencial mediante estrategias de descarbonización, resiliencia y sostenibilidad. | **3.** Requerir en toda nueva vivienda el uso de equipos sanitarios con la rúbrica del programa *WaterSense* de la EPA. Este programa ayudará a reducir el consumo de agua de estos equipos en ± 20 %. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe o la agencia gubernamental concernida no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto).<br><br>Colaborador potencial: AAA. | DRNA | $100,000 (programa de educación a consumidores) | DV | Corto plazo | **R:** Reducción en el consumo de energía y de agua a nivel residencial por el uso de aparatos y equipos eficientes.<br><br>**R:** Aumento de viviendas con los equipos de los programas.<br><br>**M:** Porcentaje de aumento en ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. Porcentaje de reducción del consumo anual de energía y de agua en viviendas bajo los programas mayor o igual a 10 %.<br><br>**M:** Porcentaje del aumento de viviendas con los equipos de los programas cada mayor. Debe superar o igualar 10 % anualmente en nuevas viviendas. |
| | **4.** Fomentar e incentivar en viviendas existentes el remplazo de aparatos y equipos sanitarios por otros con la rúbrica del programa *WaterSense* de la EPA.<br><br>Colaborador potencial: AAA. | | | | | |

## COA B.2: Desarrollar programas para edificios que viabilicen la compra e instalación de equipos de alta eficiencia energética y de agua.

**Mejores prácticas:**

- *Energy Star, 2019 Status Update, EPA.* https://www.epa.gov/vcs/energy-star
- *WaterSense, EPA.* https://www.epa.gov/watersense

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Propiciar la reducción en el consumo de energía y de agua en edificios mediante estrategias de descarbonización, resiliencia y sostenibilidad. | **1.** Requerir en nuevos edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas e industrias el uso de equipos eléctricos con la rúbrica del programa *Energy Star* de la EPA. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento oresolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | OGPe | Nominal | EPA | Corto plazo | **R:** Requerimiento adoptado por cada entidad responsable y evidencia de la reducción en el consumo de energía y de agua en edificios. (Aplica a todas las estrategias, a excepción de la número 5.)<br><br>**R:** Exención del IVU a los sistemas de acondicionamiento de aire de alta eficiencia con valores de SEER mayores o iguales que 25 en todos los edificios y viviendas. (Aplica a la estrategia número 5.)<br><br>**M:** Porcentaje del aumento en las ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. (Aplica a todas las estrategias.) |
| | **2.** Fomentar e incentivar el remplazo de aparatos y equipos eléctricos existentes por otros de bajo consumo de energía con la rúbrica *Energy Star* en edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas, industrias y viviendas unifamiliares, ya sean públicas (residenciales, edificios de vivienda asequible) o privadas (condominios, *walkups*, entre otros). | PPPE | | | | |
| | **3.** Requerir en nuevos edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas e industrias en Puerto Rico el uso de aparatos sanitarios con la rúbrica del programa *WaterSense* de la EPA. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe o la agencia gubernamental concernida no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto).<br><br>Colaborador potencial: AAA. | DRNA | | | | |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Propiciar la reducción en el consumo de energía y de agua en edificios mediante estrategias de descarbonización, resiliencia y sostenibilidad. | **4.** Fomentar e incentivar el remplazo de aparatos sanitarios existentes por otros de bajo consumo de agua con la rúbrica *WaterSense* en edificios públicos o privados de oficinas, centros comerciales, hoteles, instalaciones ecoturísticas e industrias.<br><br>Colaborador potencial: AAA. | DRNA | Nominal | EPA | Corto plazo | **R:** Requerimiento adoptado por cada entidad responsable y evidencia de la reducción en el consumo de energía y de agua en edificios. (Aplica a todas las estrategias, a excepción de la número 5.)<br><br>**R:** Exención del IVU a los sistemas de acondicionamiento de aire de alta eficiencia con valores de SEER mayores o iguales que 25 en todos los edificios y viviendas. (Aplica a la estrategia número 5.)<br><br>**M:** Porcentaje del aumento en las ventas de estos equipos en y antes de la aprobación del P-MARCC. (Aplica a todas las estrategias.) |
| | **5.** Eximir del pago del IVU los sistemas de acondicionamiento de aire de alta eficiencia con valores de *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (SEER) mayores o iguales que 25 en todos los edificios y viviendas. | Departamento de Hacienda | | | | |
| | **6.** Requerir en toda nueva vivienda el uso de lámparas LED en el rango de 2,500 K° a 3,000 K°. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual implementación. | OGPe | | | | |

**COA B.3: Desarrollar con las agencias del gobierno, y para ellas, programas que viabilicen mejoras de eficiencia energética.**

**Mejores prácticas:**

- *Solar Power World.* https://www.solarpowerworldonline.com/2021/11/nrel-energy-efficiency-key-affordable-renewable-transition/
- *LEED Reference Guide for Green Building Operations and Maintenance.* https://www.amazon.com/Reference-Guide-Building-Operations-Maintenance/dp/1932444165

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.3.1** Propiciar la eficiencia energética en los edificios del gobierno central y de los gobiernos municipales. | **1.** Exigir a las agencias e instrumentalidades del gobierno de Puerto Rico y a los municipios que establezcan programas de conservación de energía. Hacer un estudio de uso energético y facturas, y crear una lista de gastos (en orden descendente) para establecer dónde se deben concentrar los esfuerzos de conservación. | ASG | $100,000 por agencia | Fondos propios de la entidad responsable | Mediano plazo | **R:** Programa de conservación de energía establecido.<br>**M:** 100 % de los programas de conservación de energía establecidos en todas las agencias e instrumentalidades del gobierno y en los municipios para el 2050.[3]<br>**M:** Reducción de 20 % en el consumo energético en un período de 5 años. |
| | **2.** Integrar con mayor prioridad a la Autoridad de Edificios Públicos (AEP) y a la Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura (AFI) en iniciativas de conservación de energía en todos los edificios en los que intervienen. | AEP y AFI | $100,000 por agencia | AEP y AFI | Corto, mediano y largo plazo (2050) | **R:** Integración de la AEP y la AFI en las iniciativas a corto plazo.<br>**M:** Reducción de 20 % en el consumo energético en los edificios que administran en un período de 5 años.<br>**M:** A largo plazo, la AEP y la AFI aplican 100 % de las iniciativas de conservación de energía en todos los edificios en que intervienen para el 2050.[5] |

[5] La fecha de 2050 tiene en cuenta la meta del Departamento de Energía de Estados Unidos.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.3.1** Propiciar la eficiencia energética en los edificios del gobierno central y de los gobiernos municipales. | **3.** Fomentar que se hagan auditorías de energía en todos los edificios de las agencias del gobierno y adoptar sus recomendaciones. Utilizar auditores de energía certificados por el PPPE del DDEC. | ASG | $0.25 por pie cuadrado | Fondos propios de la entidad responsable | Corto, mediano y largo plazo (2050) | **R:** Edificios de las agencias del gobierno auditados como mínimo una vez en un término de 5 años o menos, luego de aprobado el P-MARCC e implantadas las estrategias.<br>**M:** Reducción de 20 % en el consumo energético en 5 años luego de implantar las recomendaciones de la auditoría; 100 % para 2050.[6] |
| | **4.** Reducir el consumo y la demanda energética por concepto de la operación y el mantenimiento de los edificios públicos y privados utilizando estrategias de eficiencia y conservación. Podrá considerarse para adopción o adaptación el sistema de certificación para operación y mantenimiento de edificios existentes del programa LEED del USGBC. | LUMA | $25,000 por edificio | AEP y AFI | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Reducción del consumo y la demanda energética por concepto de operación y mantenimiento.<br>**M:** El 100 % de los edificios públicos y privados adoptan el programa en 5 años o antes, a partir de la aprobación del P-MARCC.<br>**M:** Reducción de 20 % en el consumo energético en 5 años luego de implantar el programa; 100 % para 2050.[4] |

[6] Ídem.

## C. Desarrollar medidas que incorporen en el marco de la evaluación ambiental de planes y la definición de objetivos de reducción de emisiones, el análisis de su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático y el establecimiento de un mecanismo de seguimiento en los proyectos constructivos de nuevas infraestructuras de puertos, aeropuertos, transporte, energía, residuos y agua que se desarrollen en Puerto Rico. Este análisis debe evaluar, como mínimo, el impacto sobre la nueva infraestructura de fenómenos meteorológicos extremos y de la falta de suministros.

### COA C.1: Desarrollar estrategias que mejoren la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas principales de infraestructura ante eventos ambientales catastróficos.

**Mejores prácticas:**

- Purificación de aguas grises y aguas usadas: *Wastewater Technology Fact Sheet, The Living Machine EPA*. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/living_machine.pdf
- Inodoros de composta: Clivus Multrum, Irlanda. https://www.clivusmultrum.eu/ireland/compostingprocess.php
- Uso de madera maciza en lugar de hormigón: *Life-Cycle Cost Analysis of a Mass Timber Building Methodology and Hypothetical Case Study.* https://www.researchgate.net/figure/60-year-total-life-cycle-cost-for-proposed-mass-timber-and-concrete-buildings_tbl2_338374876
- Fideicomiso de Ciencias y Tecnología de Puerto Rico: https://prsciencetrust.org/home-espanol/
- Emular el programa de reúso de aguas grises, según lo practica Santa Mónica en California. https://www.santamonica.gov/Media/Users/smgov_5Calfredo_2Egonzalez/Water_Rate_Files/City_of_Santa_Monica_SWMP_122018.pdf y https://www.santamonica.gov/press/2017/06/12/water-neutrality-ordinance-takes-effect-july-1

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **1.** Vedar la venta de equipos de acondicionamiento de aire y refrigeración que operen con hidroclorofluorocarbonos, clorofluorocarbonos o fluorocarbonos, que abonan al cambio climático. Las unidades y equipos que contengan menos de 0.5 libras de refrigerante estarán exentas. | DACO | $100,000 | DACO | Corto plazo | **R:** Vetada la venta de equipos de acondicionamiento de aire y refrigeración que contengan gases refrigerantes.<br>**M:** Eliminación de la venta de estos equipos luego de implantada la veda. |
| | **2.** Desarrollar un programa de inspecciones quinquenales de la infraestructura crítica y los edificios ubicados cerca de la costa utilizando tecnologías avanzadas como drones y sensores remotos. Priorizar las inspecciones a base de la evaluación de riesgos. Involucrar a las comunidades locales en el proceso de inspección. Esto podría incluir mecanismos comunitarios de notificación de posibles riesgos y daños, y acceso público a los resultados de las inspecciones y programas de mantenimiento. Desarrollar programas de capacitación especializados para inspectores: Estos programas deben estar centrados en identificar los daños y riesgos relacionados con el clima. El programa de inspección debe integrar guías de sostenibilidad y resiliencia. Actualmente, es mandatorio que estas inspecciones de los edificios se realicen cada 40 años. | OGPe | Nominal | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Programa de inspecciones en operaciones.<br>**M:** Inspección de una tercera parte de la infraestructura crítica y de edificios cercanos a la costa cada año para cubrir la totalidad en el período de tres años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **3.** Desarrollar e implantar planes de mitigación, retiro y reubicación de comunidades costeras en peligro por el aumento en el nivel del mar, la marejada ciclónica y otros tipos de marejadas. Priorizar la adaptación *in situ* de las comunidades. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. | DV | $500,000 por plan<br>$250,000 por unidad | DV, JP y DRNA | Largo plazo (10 años o más) | **R:** Planes de mitigación, retiro y reubicación de comunidades costeras en peligro por el aumento en el nivel del mar desarrollados.<br>**M:** 33 % de las viviendas reubicadas en 10 años; 67 % de las viviendas reubicadas para 2040. |
| | **4.** Desarrollar e implantar planes de mitigación para la protección *in situ* de las plantas generatrices de energía que operan con combustible fósil en o cercanas a la costa para permitir su operación durante la transición a las fuentes de energía renovables o alternativas.[7] Las futuras instalaciones de generación eléctrica deben estar ubicadas lejos de la costa. | AEE / Genera PR | $250,000 por plan de mitigación @ $250,000 por mW | AEE / LUMA | Largo plazo (2030) | **R:** Planes de mitigación y operación de plantas de generación termoeléctricas cercanas a la costa o en ella implantados.<br>**M:** Cierre de plantas de carbón para 2028. Cierre de todas las plantas que operan con combustible fósil para 2050. |
| | **5.** Desarrollar e implantar planes de mitigación y reubicación planificada de las plantas de tratamiento de aguas usadas (primarias y secundarias) cercanas a la costa o a otros cuerpos de agua.[8] Las futuras plantas de tratamiento de aguas usadas deben estar ubicadas lejos de la costa. | AAA | $500,000 por plan | AAA | Largo plazo (2030) | **R:** Planes de mitigación y reubicación de plantas de tratamiento de aguas usadas (primarias y secundarias) cercanas a la costa o a otros cuerpos de agua desarrollados e implantados.<br>**M:** Reubicación de la mitad de las plantas de aguas usadas vulnerables para 2030. |

[7] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1) y de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[8] Este es un tema transversal que incide en los sectores de agua (sección 7.7) y de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **6.** Desarrollar e implantar planes para utilizar infraestructura verde a fin de atender los efluentes de aguas usadas y desarrollar sistemas de reciclaje y compostaje de excrementos y residuos orgánicos a través de la tecnología de *Living Machines* e inodoros de compostaje. | AAA y DRNA | $1,500 - $2,500 por inodoro de compostaje<br>$1 millón *Living Machine* | APP, AAA y DRNA | Largo plazo (10 años o más) | **R:** Tecnología de *Living Machines* e inodoros de compostaje en uso.<br>**M:** Sustitución del 100 % de las plantas de tratamiento primario y secundario con la tecnología de *Living Machines* en 20 años.<br>**M:** Sustitución de 100 % de los inodoros de compostaje en 50 años. |
| | **7.** Requerir el reúso de aguas grises a nivel de viviendas individuales cuando la permeabilidad del suelo lo permita. | AAA y DRNA | $1,500 por vivienda | AAA | Corto plazo (0 a 3 años) | **R:** Inyectar aguas grises al suelo para reducir la cantidad de aguas usadas (provenientes de duchas, lavabos, lavadoras de ropa, fuentes de beber, fuentes decorativas y condensación de máquinas de acondicionamiento de aire) que terminan en las plantas de tratamiento o pozos sépticos.<br>**M:** Lograr la instalación de sistemas de reúso de aguas grises en el 20 % de las viviendas individuales que se construyan en 2030 o antes. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **8.** Desarrollar plantas de energía solar fotovoltaica fuera de tierras bioproductivas luego de extinguida la posibilidad del uso de techos de edificios, únicamente cuando sea compatible con su potencial de uso agrícola.[9] | AEE / LUMA | $3 millones por kW | Departamento de Agricultura y DRNA | Mediano plazo y largo plazo (10 años o más) | **R:** Instalación de plantas de energía solar fotovoltaica fuera de tierras bioproductivas luego de extinguida la posibilidad del uso de techos de edificios, únicamente cuando sea compatible con su potencial de uso agrícola.<br><br>**M:** 100 % de los nuevos desarrollos de fincas fotovoltaicas fuera de tierras bioproductivas, a partir de la aprobación del P-MARCC. De manera alternativa, podrían aplicarse las técnicas de la agrovoltaica como último recurso, únicamente cuando sea compatible con su potencial de uso agrícola.<br><br>**M:** 40 % de energía renovable para 2030.<br><br>**M:** 100 % de energía renovable para 2050.[10] |

[9] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1) y de agricultura (sección 7.6). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[10] La fecha de 2050 tiene en cuenta la meta del Departamento de Energía de Estados Unidos.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **9.** Prohibir edificios que estén 100 % acondicionados mecánicamente con equipos de refrigeración. Determinar los porcentajes máximos del área acondicionada mecánicamente según la tipología edilicia. Se sugiere inicialmente un área máxima acondicionada de 70 % considerando el área neta en contraste con el área bruta típica de los edificios. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Se debe observar que el período de implementación debe estandarizar para facilitar el cumplimiento.) | OGPe y JP | Nominal | OGPe | Corto plazo | **R:** Edificios con solo un área bruta acondicionada menor o igual que 70 %.<br>**M:** Reducción de KBTUH ± 30 % de los espacios acondicionados en los edificios nuevos a partir de la aprobación del P-MARCC. |
| | **10.** Eliminar el uso de combustibles fósiles en todo edificio existente y de nueva construcción mediante la electrificación de todos los procesos de operación y mantenimiento, adoptando las metas establecidas por el Departamento de Energía federal para 2050. | OGPe | Indeterminable<br>Varía según el edificio | EPA, USDOE y PPPE | Largo plazo (2050) | **R:** Eliminación total del uso de combustibles fósiles para 2050 en todos los edificios.<br>**M:** Se siguen las métricas vigentes del Departamento de Energía de Estados Unidos, con un resultado final de 100 % para 2050. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar programas y planes para añadir sostenibilidad y resiliencia a la infraestructura esencial del país. | **11.** Transformar la industria de producción del cemento Portland en la isla (y reglamentar el cemento importado del extranjero) para reducir las emisiones de $CO_2$ al ambiente. Algunas de las estrategias que se pueden utilizar para reducir las emisiones de $CO_2$ en la producción de cemento son:<br>**a.** Establecer procesos de producción más eficientes.<br>**b.** Usar combustibles alternativos como biomasa.<br>**c.** Secuestrar $CO_2$ y utilizar las emisiones a través de tecnologías de captura y utilización de carbono.<br>**d.** Desarrollar nuevas formulaciones de cemento que requieran menos energía para producir o emitan menos $CO_2$ durante la producción.<br>**e.** Variar la dosificación de sus ingredientes o sustituirlos mezclando aditivos (como bicarbonato, ceniza volante, arcilla calcinada) y modificando el proceso de manufactura. | DDEC | $20 por yarda cuadrada adicional al costo actual | DDEC y fondos de IRA | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Implantación de estrategias en la industria de producción del cemento Portland en la isla que generen menos emisiones de $CO_2$ al ambiente.<br>**M:** Reducción de emisiones de 0.7 toneladas de $CO_2$ por yarda cúbica de cemento por año a 0.5 toneladas de $CO_2$ por yarda cúbica de cemento por año para el año 2030.<br>**M:** Lograr cemento de cero emisiones para 2050. |

**COA C.2: Desarrollar planes que mejoren el acceso a la información y, en consecuencia, la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas principales de infraestructura ante eventos ambientales catastróficos.**

**Mejores prácticas:**

- *US Energy Information Administration.* https://www.eia.gov
- *Energy Star Portfolio Manager.* https://portfoliomanager.energystar.gov/pm/login.html
- *Energy Star Portfolio Manager.* https://www.energystar.gov/buildings/benchmark

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.1** Asignar responsabilidades para el desarrollo de datos con el fin de mejorar la sostenibilidad y resiliencia de Puerto Rico. | **1.** Levantar estadísticas de consumo energético típico y metas recomendadas de consumo en unidades de kWh / PC / año / tipología edilicia. Con estas estadísticas se podrán establecer metas por comparativas de mercado (*benchmarking*) entre diferentes edificios de la misma tipología para reducir consumos y mejorar eficiencias. Usar métricas como las utilizadas por la *Energy Information Administration* (EIA). | NEPR | $100,000 | NEPR | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Disponibilidad de tablas comparativas del consumo de diferentes tipologías edilicias en unidades de kWh / PC / año.<br><br>**M:** Lograr comparativas de mercado para edificios del gobierno central y gobiernos municipales: 25 % para 2030; 50 % para 2040; 100 % para 2050. |
| | **2.** Encomendar a la AEE / LUMA que generen datos y estadísticas siguiendo los formatos del EIA con el fin de comparar a Puerto Rico con las demás jurisdicciones de Estados Unidos en relación con consumos y eficiencias promedio, según las tipologías edilicias de uso. | NEPR | $250,000 | NEPR | Mediano plazo | **R:** Disponibilidad de datos para generar metas comparativas de mercado con diferentes estados y jurisdicciones en Estados Unidos.<br><br>**M:** Lograr la disponibilidad de datos para todos los edificios gubernamentales, municipales y privados (excepto viviendas): 100 % para 2030. |
| | **3.** Requerir el uso del *Energy Star Portfolio Manager* en todos los edificios del gobierno central y los edificios municipales. Esta es una herramienta interactiva para gerenciar recursos que permite comparar el uso de energía de cualquier tipo de edificio, todo en un entorno en línea seguro. | AEP y AFI | $100,000 por cada agencia estatal y $50,000 por cada municipio | Fondos del gobierno central y los gobiernos municipales | Mediano plazo | **R:** Lograr la participación en el programa *Energy Star Portfolio Manager*.<br><br>**M:** 50 % de los edificios participa en el programa en 2027 o antes, y 100 % para 2030. |

## D. Adoptar procesos que puedan aplicarse económica y medioambientalmente en la construcción y conservación de carreteras para combatir el cambio climático.

### COA D.1: Implantar en la construcción y conservación de carreteras tecnologías ecoamigables aprobadas por políticas públicas tanto estatales como federales que rigen en Puerto Rico.

**Mejores prácticas:**

- *EPA Approves Use of Phosphogypsum in Road Construction*. https://www.epa.gov/newsreleases/epa-approves-use-phosphogypsum-road-construction

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Promover y utilizar materiales reciclados en los procesos de construcción y mantenimiento de carreteras, como las gomas de automóviles trituradas, según la resolución conjunta de la Cámara de Representantes 57 de 2022 firmada por el gobernador.[11] | **1.** Establecer un incentivo contributivo con el objetivo de que las compañías de asfalto puedan adquirir los equipos y la tecnología necesarios para elaborar la mezcla de asfalto con materiales reciclados como gomas de automóviles, hormigón reciclado y fosfoyeso, entre otros. | DTOP, DRNA y Departamento de Hacienda | Al ser un incentivo contributivo y un aumento de la partición de un impuesto, la Junta de Supervisión Fiscal tendría que aprobarlo para que pueda entrar en vigor | Se le identificará una vez que se obtenga la aprobación de la Junta de Supervisión Fiscal<br><br>Existen programas de la EPA y USDOT que podrían utilizarse | Corto y mediano plazo | **R:** Incentivo contributivo establecido para las compañías de asfalto. Aumento de la partición del impuesto a las empresas de reciclaje.<br><br>**M:** Lograr para 2026 que al menos el 10 % de la mezcla de asfalto contenga materiales reciclados. Y 20 % para 2030. |
| **D.1.2** Promover el uso de fosfoyeso, aprobado en 2020 por la EPA en la construcción de carreteras. | **1.** Aumentar la porción que se les paga a las empresas de reciclaje de gomas por concepto del impuesto para el reciclaje de gomas, con el fin de que dichas empresas puedan triturar el producto para que las compañías de asfalto puedan procesarlos. | | | | | |

[11] *Cybernews* (23 de noviembre de 2022). "Convierten en ley el que se use goma triturada para asfalto en la Isla". *El Vocero*. https://www.elvocero.com/gobierno/agencias/convierten-en-ley-el-que-se-use-goma-triturada-para-asfalto-en-la-isla/article_76019b40-6b66-11ed-9c6d-4f4ba137a0d6.html

## E. Impulsar la presentación de Permisos Verdes contemplados en la Ley 161-2009, según enmendada, conocida como “Ley para la Reforma del Proceso de Permisos de Puerto Rico”.

**COA E.1: Transformar el procedimiento y los requerimientos del Permiso Verde de Construcción y del Permiso de Uso Verde de la OGPe para facilitar su aprobación de forma más sencilla, rápida y eficiente.**

**Mejores prácticas:**

- Documentos requeridos para el Permiso de Uso Verde, OGPe. https://311prkb.respondcrm.com/respondweb/OGPe-D016%20Permiso%20de%20Uso%20Verde/OGPe-D016%20Permiso%20de%20Uso%20Verde.pdf
- El nuevo sistema de permisos y los permisos verdes, Corriente Verde. https://www.corrienteverde.com/disenoverde/el-nuevo-sistema-de-permisos-y-los-permisos-verdes
- Permiso Verde: ¿Qué es y cómo obtenerlo? https://noticiasmicrojuris.files.wordpress.com/2012/11/bosquejo-curso-permiso-verde.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Desligar los requisitos de certificaciones verdes de la OGPe para que los gestionen terceros. | **1.** Transformar el procedimiento y los requerimientos del Permiso Verde de Construcción y del Permiso de Uso Verde de la OGPe para facilitar su aprobación de forma más sencilla, rápida y eficiente. Podría considerarse el requisito de certificaciones por terceros tales como LEED, *Passive Haus*, BREEAM, *Energy Star*, *Living Building Challenge* u otros, y desligarlo sustancialmente de la OGPe. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | $100,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Simplificar el procedimiento voluntario de obtención del Permiso Verde de Construcción y de Uso.<br>**M:** Aumento en el número de permisos verdes: de 25 % para 2030 y de 50 % para 2050. |

**COA E.2: Explorar otras opciones al Permiso Verde de Construcción y al Permiso de Uso Verde de la OGPe para agilizar y promover la certificación de edificios sostenibles y resilientes.**

**Mejores prácticas:**

- *Net Zero Energy.* https://www.iccsafe.org/advocacy/net-zero/
- *Energy Resources and Model Policies.* https://www.iccsafe.org/advocacy/energy-efficiency-resources-model-policies/
- *Zero Code Renewable Energy Standard.* https://zero-code.org/zero-code-news/
- *Renewable Energy Portions of the Zero Code Added to the 2021 International Energy Conservation Code.* https://zero-code.org/new-model-building-code-empowers-local-jurisdictions-to-require-zero-net-carbon-operations/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.1** Implantar otras opciones de certificación y reglamentación además del Permiso Verde de la OGPe. | **1.** Adoptar políticas y ordenanzas modelo según confeccionadas por el *International Code Council* (ICC) para reducir y eliminar las emisiones de carbono usando las mejores prácticas mencionadas arriba. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | $100,000 | OGPe | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Incorporar la certificación de edificios verdes al Reglamento Conjunto (edificación) de Puerto Rico.<br>**M:** Reducción del 50 % de las emisiones medidas en toneladas de $CO_2$ por pie cuadrado de edificación para cada tipología edilicia para 2035 y del 100 % para 2050. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.1** Implantar otras opciones de certificación y reglamentación además del Permiso Verde de la OGPe. | **2.** Adaptar los códigos de construcción existentes en otras jurisdicciones, como California y Canadá, para reducir y eliminar las emisiones de carbono siguiendo las pautas del *New Buildings Institute*. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | $100,000 | OGPe | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Hacer mandatorios el diseño y la construcción de edificios verdes en el Reglamento Conjunto (edificación) de Puerto Rico.<br>**M:** Reducción del 50 % de las emisiones medidas en toneladas de $CO_2$ por pie cuadrado de edificación para cada tipología edilicia para 2035, y del 100 % para 2050. |
| | **3.** Adoptar códigos de construcción que promuevan el diseño de edificios de Energía Neta y Carbono Cero (*Zero Energy / Carbon Codes*). Esta es una estrategia de código de energía en la que se requiere que los proyectos demuestren que los planes de construcción presentados están diseñados para lograr la neutralidad de carbono. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | $100,000 | OGPe | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Hacer mandatorios el diseño y la construcción de edificios verdes en el Reglamento Conjunto (edificación) de Puerto Rico.<br>**M:** Reducción de 50 % de las emisiones medidas en toneladas de $CO_2$ por pie cuadrado de edificación para cada tipología edilicia para 2035, y de 100 % para 2050. |

**F. Adaptar la normativa urbanística y energética para que las nuevas áreas residenciales sean autosuficientes energéticamente y se diseñen de acuerdo con la siguiente jerarquía de criterios: reducir la demanda energética, ser eficientes en el diseño de los sistemas que cubren la demanda energética, aprovechar los recursos energéticos locales y promover el uso de materiales de construcción de bajo impacto. Establecer métricas para determinar la cifra específica de reducción en el consumo energético a nivel residencial.**

**COA F.1: Promover el diseño urbano a nivel de ciudad y de comunidades para reducir el consumo energético y explorar los alcances del aumento en el nivel del mar con el fin de proteger vidas y propiedades.**

**Mejores prácticas:**

- *Walking Map, Seattle.* https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/pedestrian-program/walking-map
- *Urban Planning in the 15-Minute City: Revisited under Sustainable and Smart City Developments until 2030.* https://www.mdpi.com/2624-6511/5/4/69
- *Designing the Walkable City.* https://www.semanticscholar.org/paper/Designing-the-Walkable-City-Southworth/e202c3119b5c7094f763dd814d8af65a8d6f014c
- *Sea Level Rise Viewer.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/slr.html
- *Tiny House Society.* https://www.tinysociety.co
- *Walkable City, Washington, D. C.* https://www.walkscore.com/methodology.shtml y https://www.coworkingcafe.com/blog/boston-leads-as-the-best-us-city-to-live-without-a-car/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía y recursos y el uso de la tierra para viviendas. | **1.** Aprovechar, restaurar y actualizar la infraestructura en desuso o abandonada. Desarrollar un plan para rehabilitar los edificios y viviendas vacías de forma sostenible y resiliente. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DV | $100,000 por unidad | DV estatal y municipales | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Rescate de los centros urbanos abandonados.<br>**M:** Rescate de los centros urbanos: 20 % para 2030; 50 % para 2040; 75 % para 2050. |
| | **2.** Utilizar como estrategia medular el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Sus metas tienen relación con los otros 16 ODS; esto significa que atender los temas de ciudad es una acción clave para la consecución de la Agenda 2030 de la ONU en Puerto Rico.Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DV | $100,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Hacer las ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.<br>**M:** Incorporar el ODS número 11 de la ONU en la política pública de Puerto Rico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía y recursos y el uso de la tierra para viviendas. | **3.** Promover el desarrollo y construcción de vivienda ultracompacta (*tiny houses*) de dos habitaciones (750 pies cuadrados [PC] o menos) con potencial de crecimiento a tres habitaciones (850 PC o menos) en sustitución de las viviendas de tamaño convencional para reducir la demanda energética. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DV | $175,000 por unidad | DV y gobiernos municipales | Mediano plazo y largo plazo (2050) | **R:** Reducir el área de desarrollo para vivienda nueva que impacte los suelos en Puerto Rico.<br><br>**M:** Cubrir el 15 % de la demanda de vivienda nueva con unidades ultracompactas para 2030.<br><br>**M:** Cubrir el 25 % de la demanda de vivienda nueva con unidades ultracompactas para 2040.<br><br>**M:** Cubrir el 50 % de la demanda de vivienda nueva con unidades ultracompactas para 2050. |
| | **4.** Promover centros urbanos peatonales en todos los municipios comenzando con los que tienen centros históricos. Utilizar la estrategia de ciudades de 15 minutos para determinar el área donde implantar este programa. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DV | Indeterminable | JP, OGPe y DV | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Peatonalizar los centros urbanos y reducir el uso de los vehículos de motor.<br><br>**M:** Hacer peatonales los centros urbanos y reducir el uso de los vehículos a: 20 % para 2035; 50 % para 2050: 80 % para 2070. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía y recursos y el uso de la tierra para viviendas. | **5.** Exigir como curso de acción las enmiendas necesarias al Reglamento Conjunto para que conste el retiro prospectivo de la costa. Solicitar que se enmiende la sección relacionada con la Zona de Separación, para que la franja de uso público pase de 20 a 30 metros. Solicitar que la franja en donde no se pueden construir estructuras permanentes se cambie de 30 a 40 metros. Como resultado, se logrará un retiro de 70 metros de la zona marítimo terrestre en suelos urbanos y de 100 metros en los suelos rústicos, según el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico.[12] Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DRNA | $100,000 | JP, OGPe, DV y gobiernos municipales | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Enmendar el Reglamento Conjunto en lo relacionado con los retiros mandatorios de la zona costera.<br>**M:** Prohibir construcción nueva en la costa (según lo define el Reglamento Conjunto) para 2030. |
| | **6.** Vedar la construcción de viviendas (y otros edificios) en lugares que prospectivamente (según las proyecciones hasta 2050) se inundarán por el aumento en el nivel del mar, la marejada ciclónica y otras marejadas, de acuerdo con los modelos de la NOAA. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, DRNA y OGPe | $100,000 | Gobiernos estatal y municipales | Corto plazo | **R:** Eliminar la construcción de viviendas en áreas propensas a inundación por el aumento en el nivel del mar, la marejada ciclónica y otras marejadas.<br>**M:** Veda total para 2030, según los mapas prospectivos de la NOAA. |

[12] Este es un tema transversal que incide en el sector de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía, recursos y uso de la tierra para viviendas. | **7.** Balancear los requisitos entre viviendas de interés social y otros renglones de la vivienda para evitar códigos de construcción discriminatorios contra las clases en desventaja económica. Un mecanismo puede incluir un *premium* en las viviendas de lujo para subsidiar las de interés social y que todas puedan cumplir con los códigos energéticos y de descarbonización. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | DV y OGPe | $100,000 | DV, gobiernos municipales y Departamento de Hacienda | Corto y mediano plazo | **R:** Viabilizar que la vivienda de interés social pueda cumplir con códigos más estrictos, inherentemente más costosos, con un impuesto a viviendas de lujo.<br><br>**M:** Lograr una reducción del costo de la vivienda de interés social de 20 % del costo promedio de la vivienda convencional para el año 2030 y de 30 % para 2050. |
| | **8.** Iniciar el realojo (*retreat*) de familias y comunidades costeras afectadas o que prospectivamente se verán afectadas por los aumentos en el nivel del mar proyectados por la NOAA (hasta 2050), la marejada ciclónica y otras marejadas, así como por la erosión costera. Priorizar la adaptación *in situ* de las comunidades. Los realojos deben ser resultado de procesos de retiro planificado y deben proveer acompañamiento psicosocial y justa compensación. Todos los procesos relacionados deben conllevar una planificación comunitaria participativa. Las áreas sujetas a expropiación no estarán disponibles para ningún tipo de desarrollo futuro, excepto para usos recreativos pasivos de interés y beneficio público, así como para el establecimiento de sistemas naturales de protección ante el aumento del nivel del mar, marejada ciclónica, otro tipo de marejadas y erosión costera.[13] Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley Núm. 161- 2009 y Reglamento Conjunto.) | JP, OGPe y DV | $250,000 por unidad | JP, OGPe, DV, gobiernos municipales y Departamento de Hacienda | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reubicar familias o comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas, vulnerables a inundaciones por marejada ciclónica y otras marejadas, la erosión costera y el aumento en el nivel del mar proyectado para 2050.<br><br>**M:** Lograr el realojo del 50 % de estas familias o comunidades para 2035.<br><br>**M:** Lograr el realojo del 100 % de estas familias o comunidades para 2050. |

[13] Este es un tema transversal que incide en el sector de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía, recursos y uso de la tierra para viviendas. | **9.** Desarrollar programas de participación ciudadana que incluyan a la comunidad en general y vecinos inmediatos de sectores y comunidades para atender sus preocupaciones, necesidades y prioridades relacionadas con su realojo. | DV y OGPe | $250,000 | Gobiernos municipales | Corto plazo | **R:** Involucrar a las comunidades en la toma de decisiones relacionadas con su realojo.<br>**M:** Lograr una participación mínima del 51 % de los representantes de las comunidades afectadas por realojos propuestos para 2035 y 70 % a partir de 2050. |
| | **10.** Requerir en todas las viviendas de nueva construcción la instalación de un calentador de agua a base de energía solar. | DACO, DV y OGPe | $3,500 por unidad | DACO | Corto plazo | **R:** Aumentar el uso de calentadores de agua solares en las viviendas.<br>**M:** Lograr que todas las viviendas nuevas estén dotadas de un calentador de agua a base de energía solar a partir del 2025. |
| | **11.** Promover en todas las viviendas existentes la instalación de un calentador de agua a base de energía solar. | DACO, DV y OGPe | $3,500 por unidad | DACO, DV, gobiernos municipales y OGPe | Mediano y largo plazo (2050) | **R:** Aumentar el uso de calentadores de agua solares en las viviendas.<br>**M:** Lograr que 50 % de todas las viviendas existentes estén dotadas de un calentador de agua a base de energía solar para 2030, y 100 % para 2050. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Propiciar la resiliencia y la eficiencia en el consumo de agua, energía y recursos y el uso de la tierra para viviendas. | **12.** Promover el uso de paneles estructurales de aislamiento (SIP, siglas de *Structural Insulated Panels*) y otros materiales similares en sustitución del hormigón para reducir ± 40 % a 50 % del uso de cemento en las nuevas construcciones y a su vez reducir las emisiones de $CO_2$ del proceso de manufactura del cemento. | DACO, DV y OGPe | $12 por pie cuadrado de panel | DACO, DV, gobiernos municipales y OGPe | Corto plazo (0 a 3 años)<br>Largo plazo (2050) | **R:** Reducir la ganancia de calor solar en los interiores de las viviendas.<br>**M:** Lograr que los techos de las habitaciones de todas las viviendas nuevas estén construidos con esta tecnología o similares con valor de resistencia térmica de R=30 en rendimiento a partir de 2025.<br>**M:** Lograr que los techos de todas las viviendas nuevas estén construidos con esta tecnología o similares con valor R=30 en rendimiento a partir de 2030.<br>**M:** Lograr que la envoltura exterior de todas las viviendas nuevas esté construida con esta o similares tecnologías con valor R=30 en rendimiento a partir de 2040. |
| | **13.** Considerar la introducción de otros materiales de construcción en la vivienda como sustitutos del hormigón, incluyendo la madera maciza, el acero y la tierra, entre otros. | DV y OGPe | Variable | DACO, DV, gobiernos municipales y OGPe | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir el uso del cemento como material principal de construcción.<br>**M:** Lograr que el 20 % de las construcciones nuevas utilicen otros materiales de menor emisión de $CO_2$ para 2050. |

## G. Identificar y clasificar espacios ya urbanizados u ocupados por infraestructuras y servicios con potencialidades para situar o compartir superficies para captar y desarrollar proyectos de energía renovables [*sic*].

### COA G.1: Desarrollar políticas públicas que permitan expandir el acceso a las superficies construidas para proyectos de energía renovable o alternativa.[14]

**Mejores prácticas:**

- Planta de emergencia solar. https://www.bluettipower.com
- Estrategia de agrovoltaica: combinación de fincas agrícolas y fotovoltaicas. https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/agrivoltaics.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Establecer legislación y enmiendas a los reglamentos de construcción a fin de fomentar el uso de superficies edilicias existentes y prospectivas para la generación de energía renovable o alternativa. | **1.** Requerir que todas las unidades de vivienda individuales de interés social existentes y prospectivas estén dotadas, como mínimo, de una planta fotovoltaica de emergencia con generación mínima de 2 kWh por día. Esta estrategia mejorará la resiliencia eléctrica de cada unidad en caso de eventos catastróficos donde la AEE / LUMA descontinúe el servicio. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DACO, OGPe y PPPE | $1 por vatio hora de generación diaria | DACO y PPPE | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir el consumo energético y proveer resiliencia energética durante eventos catastróficos.<br><br>**M:** Lograr que el 25 % de las unidades existentes estén provistas de una planta solar de emergencia con capacidad mínima de 2.5kWh por día para 2030; 50 % para 2035 y 100 % para 2050.<br><br>**M:** Lograr que el 100 % de las unidades nuevas estén provistas de una planta solar de emergencia para 2025. |

[14] Este es un tema transversal que incide en el sector de energía (sección 7.1). Aunque el curso de acción y las estrategias se asemejan a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Establecer legislación y enmiendas a los reglamentos de construcción a fin de fomentar el uso de superficies edilicias existentes y prospectivas para la generación de energía renovable o alternativa. | **2.** Requerir que todas las unidades de vivienda en condominios multipisos estén dotados de una planta fotovoltaica de emergencia con generación mínima de 2 kWh por día. Esta estrategia mejorará la resiliencia eléctrica de cada apartamento en caso de eventos catastróficos donde la AEE / LUMA descontinúe el servicio. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DACO, OGPe y PPPE | $1 por vatio hora de generación diaria | DACO y PPPE | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir el consumo energético y proveer resiliencia energética durante eventos catastróficos.<br><br>**M:** Lograr que el 25 % de las unidades existentes estén provistas de una planta solar de emergencia con capacidad mínima de 2.5kWh por día para 2030; 50 % para 2035, y 100 % para 2050.<br><br>**M:** Lograr que el 100 % de las unidades nuevas estén provistas de una planta solar de emergencia para 2025. |
| | **3.** Requerir que todas las unidades de vivienda en lugares remotos de difícil acceso, según sean definidas por la Junta de Planificación, estén dotadas de sistemas autónomos de energía renovable o alternativa, principalmente en su modalidad fotovoltaica sobre sus techos. Esta estrategia mejorará la resiliencia eléctrica de cada unidad y reducirá los costos de instalación, reparación y mantenimiento de nueva infraestructura por parte de la AEE / LUMA. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | $50,000 por unidad | DV y AEE / LUMA | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Proveer servicio eléctrico a viviendas y comunidades remotas o de difícil acceso para la AEE / LUMA. Limitar el acceso de la red de distribución eléctrica proveyendo el servicio a lugares de fácil acceso y áreas urbanas existentes o en expansión.<br><br>**M:** Lograr la autonomía energética de viviendas y comunidades remotas en 25 % para el año 2035.<br><br>**M:** Lograr la autonomía energética de todas las viviendas y comunidades remotas para el año 2050. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Establecer legislación y enmiendas a los reglamentos de construcción para fomentar el uso de superficies edilicias existentes y prospectivas para la generación de energía renovable o alternativa. | **4.** Requerir como primera opción el uso de techos de edificios existentes y futuros para la instalación de sistemas de generación distribuida con energía renovable, principalmente en su modalidad fotovoltaica. Esta estrategia mejorará la resiliencia eléctrica de cada unidad y reducirá los costos de instalación, reparación y mantenimiento de nueva infraestructura por parte de la AEE / LUMA. | OGPe y DDEC | Nominal | OGPe y DDEC | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Aumentar la capacidad de generación distribuida de la red eléctrica. Reducir la cantidad de proyectos de generación distribuida sobre el suelo.<br><br>**M:** Lograr que 70 % de los techos de edificios existentes estén provistos con sistemas de energía renovable para 2040.<br><br>**M:** Lograr que 100 % de los techos de edificios nuevos estén provistos con sistemas de energía renovable para 2050. |
| | **5.** Vedar el uso de tierras agrícolas, bosques y áreas protegidas o vulnerables ecológica y ambientalmente para el desarrollo de fincas fotovoltaicas o parques eólicos o cualesquiera otras tecnologías de producción energética que menoscaben su potencial bioproductivo. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP y OGPe | Nominal | Legislatura | Corto plazo | **R:** Eliminar el uso de terrenos bioproductivos para la generación de energía distribuida con fuentes renovables o alternativas en lo que se determina la viabilidad de estrategias de agrovoltaica.<br><br>**M:** Medir las áreas agrícolas utilizadas para fincas fotovoltaicas antes del inicio de estos cursos de acción y después de ellos.<br><br>**M:** No permitir el uso de tierras bioproductivas para la instalación de fincas fotovoltaicas que afecten la producción agrícola. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Establecer legislación y enmiendas a los reglamentos de construcción a fin de fomentar el uso de superficies edilicias existentes y prospectivas para la generación de energía renovable o alternativa. | **6.** Explorar la posibilidad de implantar la estrategia de la agrovoltaica, que permite la combinación de fincas agrícolas y fincas fotovoltaicas, únicamente cuando sea compatible con su potencial de uso agrícola. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP, PPPE y OGPe | $50,000 | JP y OGPe | Corto, mediano y largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Permitir el uso de terrenos bioproductivos para la generación de energía distribuida con fuentes renovables o alternativas a través de la estrategia de agrovoltaica, únicamente cuando sea compatible con su potencial de uso agrícola.<br>**M:** Tener una primera finca de carácter experimental en 2030 o antes.<br>**M:** Coordinar esta estrategia con la estrategia número 5 de este COA. |

## H. Propiciar el uso, por parte de los profesionales del diseño, planificación y construcción de zonas residenciales, de fuentes de energía renovable o alternativas para la refrigeración y el agua sanitaria, y de soluciones constructivas, tanto estructurales como de cierres altamente eficientes energéticamente.

### COA H.1: Educar a los profesionales de la industria de la construcción en la descarbonización del ambiente construido.

**Mejores prácticas:**

- *Better Building Initiative, US Department of Energy*. https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov
- *Cost-Effective Grid-interactive Efficient Buildings*. https://www.energy.gov/eere/buildings/grid-interactive-efficient-buildings
- *50001 Ready, US Department of Energy: Better Climate Challenge 50001 Ready FAQs*.
- *Industrial Technology Validation Pilot – Phase II Webinar*. https://www.energy.gov/eere/amo/events/industrial-technology-validation-pilot-phase-ii-webinar
- *Carbon Project Implementation Tracker Tool*. https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/decarbonization/carbon
- *CASE STUDY LEED V4.1 Cities*. https://www.usgbc.org/projects/miami-dade-county
- *CASE STUDY LEED V4.1 Cities*. https://www.usgbc.org/projects/city-tampa
- *CASE STUDY LEED V4.1 Cities*. https://www.usgbc.org/projects/city-tallahassee

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Desarrollar programas educativos y herramientas para profesionales y técnicos de la industria del diseño y la construcción con el objetivo de descarbonizar el ambiente construido. | **1.** Iniciar un plan de educación continua en los gremios profesionales para certificar a especialistas y auditores en descarbonización de proyectos de construcción. Será requisito una certificación firmada y sellada por este profesional para cada proyecto con un área bruta mayor de 15,000 PC.<br><br>Colaboradores potenciales: CAAPPR, CIAPR y la UPR. | Departamento de Educación (DE) y PPPE | $15 por crédito por persona | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Formar a profesionales especialistas en la descarbonización del ambiente construido.<br><br>**M:** Lograr que el 30 % de la matrícula del CAAPPR y el CIAPR se certifiquen en los primeros tres años de P-MARCC a partir de su inicio (propuesto para 2025). |
| | **2.** Iniciar un programa compulsorio de certificación en programas de descarbonización de proyectos de construcción para desarrolladores y contratistas.<br><br>Colaboradores potenciales: Asociación de Contratistas Generales de Puerto Rico (ACGPR) y la Asociación de Constructores de Puerto Rico (ACPR). | DE, PPPE y DDEC | $15 por crédito por persona | Departamento de Estado, DDEC y DE | Corto plazo | **R:** Formar a constructores especialistas en la descarbonización del ambiente construido.<br><br>**M:** Lograr que el 30 % de la matrícula del ACGPR y de la ACPR se certifiquen en 2030 o antes. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Desarrollar programas educativos y herramientas para profesionales y técnicos de la industria del diseño y la construcción con el objetivo de descarbonizar el ambiente construido. | **3.** Iniciar programas de educación y aplicación de la descarbonización a través de organismos reconocidos como el *Better Buildings* del Departamento de Energía federal. | PPPE | $15 por crédito por persona | PPPE | Corto plazo | **R:** Formar a profesionales especialistas en la descarbonización del ambiente construido.<br><br>**M:** Lograr que el 30 % de la matrícula del CAAPPR y el CIAPR se certifiquen en los primeros tres años del P-MARCC a partir de su inicio (propuesto para 2025). |
| | **4.** Requerir una reválida y licencia a todos los constructores de Puerto Rico como se hace con los arquitectos e ingenieros, que incluya educación en infraestructura verde, reciclaje de materiales y residuos en proyectos de construcción y otros, incluyendo un programa de educación continua.<br><br>Colaboradores potenciales: ACGPR y ACPR. | Departamento de Estado | $250,000 | Departamento de Estado, DDEC y DE | Corto plazo | **R:** Responsabilizar mediante examen de reválida y licenciatura a los constructores en Puerto Rico.<br><br>**M:** Lograr que el 100 % de los constructores se licencie en 2030 o antes. Incluir la “Cláusula del abuelo” (*Grand Father Clause*) para casos especiales. |
| | **5.** Institucionalizar el uso de herramientas de programación (*software*) para monitorear proyectos de descarbonización en el gobierno y la industria privada. | DACO y PPPE | $100,000 | DACO y PPPE | Mediano y largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Desarrollo o uso de *software* para el monitoreo de emisiones de $CO_2$ de edificios al ambiente.<br><br>**M:** Monitorear 50 % de los proyectos de descarbonización en 2030, y 100 % para 2050. |
| | **6.** Desarrollar una aplicación para teléfonos celulares de distribución gratuita a fin de reportar incumplimientos con una política pública de desarrollo y construcción sostenible, resiliente y descarbonizada. | DACO y PPPE | $100,000 | DACO y PPPE | Corto plazo | **R:** Incorporar a la ciudadanía en general en el proceso de monitoreo de descarbonización de los edificios.<br><br>**M:** Tener la aplicación lista para 2025. |

## COA H.2: Establecer una política pública de desarrollo y construcción sostenible, resiliente y descarbonizada.

**Mejores prácticas:**

- *Embodied Energy*. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/embodied-energy
- *Blurring indoor and outdoor spaces has become more important than ever.* https://identity.ae/blurring-indoor-and-outdoor-spaces-has-become-more-important-than-ever/
- *What are Passive Design Strategies & Their Importance in architecture – 2023.* https://www.novatr.com/blog/passive-design-strategies-in-architecture
- *LEED for Cities and Communities.* https://www.usgbc.org/leed/rating-systems/leed-for-cities-communities

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.2.1** Toda construcción nueva en Puerto Rico debe ser sostenible, resiliente y descarbonizada. | **1.** Requerir la optimización en la reducción de emisiones de $CO_2$ a través de estrategias de diseño pasivo en todos los edificios diseñados para el gobierno y edificios privados, incluyendo, entre otras, la iluminación y ventilación natural, la fenestración y envoltura de los edificios y el uso de parasoles, vegetación, topografía, forma y orientación de los edificios. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | OGPe | $100,000 | OGPe | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Proyectar el consumo de energía de edificios en el proceso de diseño mediante el uso de estrategias de diseño pasivo.<br>**M:** 100 % de los proyectos de diseño sometidos cumple con este requisito para 2030. |
| | **2.** Bonificar la sustitución de espacios interiores acondicionados en edificios institucionales por espacios exteriores sin acondicionar (tales como vestíbulos, espacios de recepción, salas de espera, salones de reuniones y conferencias, baños y pasillos, entre otros), excepto en instalaciones de salud, reduciendo el pago de estampillas de Rentas Internas. (Coordinar con la estrategia #15 del COA C.1.) | OGPe y Departamento de Hacienda | $100,000 | Departamento de Hacienda | Corto plazo (0 a 3 años)<br>Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir el consumo de energía por concepto de acondicionamiento de aire mecánico en edificios institucionales. Promover el uso de la ventilación natural en edificios.<br>**M:** 100 % de los proyectos de diseño sometidos cumple con este requisito en 2030 o antes. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.2.1** Toda construcción nueva en Puerto Rico debe ser sostenible, resiliente y descarbonizada. | **3.** Limitar la energía incorporada en materiales, procesos y productos de construcción utilizando y publicando tablas de materiales de construcción y su energía incorporada por unidad de uso / material. Fomentar el uso de aquellos materiales con menos energía incorporada reduciendo el pago de estampillas de Rentas Internas y penalizando los de mayor energía incorporada con un impuesto que pueda cubrir los gastos del programa de implantación. | DACO y PPPE | $50,000 | DACO | Corto plazo (0 a 3 años) | **R:** Reducir los consumos de energía incorporada en los materiales de construcción.<br><br>**M:** Se determinará la eficacia de esta estrategia midiendo los ingresos o mermas de sellos de Rentas Internas o impuestos especiales para viabilizar la estrategia. |
| | **4.** Aumentar la eficiencia en todas las actividades y operaciones del gobierno mediante cambios estructurales que simplifiquen los procedimientos burocráticos utilizando procedimientos digitales y simples en línea. La reducción en los procesos burocráticos puede ser sustancial en la reducción de emisiones de $CO_2$. | Departamento de Hacienda y ASG | Indeterminable | Departamento de Hacienda | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir el tiempo de los procesos burocráticos en las actividades, operaciones y los trámites con el gobierno central y los gobiernos municipales.<br><br>**M:** Reducción de 25 % del tiempo para procesar servicios y requisitos para 2030 y de 50 % para 2040, usando 2023 como año base. |
| | **5.** Propiciar el desarrollo sostenible en comunidades promoviendo la participación ciudadana desde las etapas embrionarias de los proyectos. El desarrollo sostenible en las comunidades debe enfatizar el colectivo y no limitarse a viviendas o edificios individuales. Se recomienda utilizar el modelo del sistema LEED del USGBC (*LEED for Neighborhoods, LEED for Cities*) para certificar nuevas comunidades y ciudades sostenibles y transformar las existentes a través de ese instrumento. Lista de comunidades y ciudades de Florida certificadas bajo el sistema LEED que podrán servir de base para aplicar sus estrategias en Puerto Rico: Miami-Dade, Tampa, Tallahassee. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | JP, OGPe, DDEC y DE | $100,000 por comunidad | JP | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Promover el diseño y construcción de comunidades sostenibles y resilientes.<br><br>**M:** Lograr la primera certificación LEED de un vecindario o de una ciudad para 2035. |

## I. Promover acciones adaptativas, tales como propiciar la infraestructura verde en Puerto Rico en los diversos sectores que componen el andamiaje social, económico y gubernamental de la isla.

### COA I.1: Aumentar la permeabilidad de los pavimentos y techos con infraestructura verde para reducir las temperaturas urbanas.

**Mejores prácticas:**

- Pavimentos permeables. https://www.ndspro.com/products/permeable-pavers/ez-roll-grass-pavers.html
- Confinamiento celular. https://greenblue.com/na/products/grassrings/
- Pavimentos permeables. https://biodiversity.europa.eu/green-infrastructure
- Techos naturados. https://www.greenroofs.com/event/epa-webinar-green-infrastructure-ecosystem-benefits-and-applications/
- Reciclaje de hormigón. https://www.sika.com/en/knowledge-hub/reco2ver-concrete-recycling.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.1.1** Propiciar estrategias para viabilizar diferentes tecnologías de infraestructura verde en proyectos de desarrollo y construcción. | **1.** Promover el uso de las superficies pavimentadas permeables en nuevas áreas a urbanizar para mejorar la infiltración de las aguas de lluvia al subsuelo y reducir los impactos de inundación ocasionados por lluvias repentinas. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DTOP y OGPe | $4 a $12 por PC | Administración Federal de Carreteras | Mediano plazo | **R:** Minimizar las escorrentías pluviales urbanas.<br>**M:** Reducir los pavimentos impermeables en toda área exterior de rodaje o peatonal de proyectos de construcción nuevos en 50 % de las áreas propuestas en 2030 o antes. |
| | **2.** Reducir las superficies impermeables en áreas urbanas existentes mediante su sustitución por unas de mayor permeabilidad. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DTOP y OGPe | $9 - $18 por PC | DTOP | Corto y largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Minimizar las escorrentías pluviales urbanas.<br>**M:** Reducir los pavimentos impermeables a razón de 10 % al año a partir de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.1.1** Propiciar estrategias para viabilizar diferentes tecnologías de infraestructura verde en proyectos de desarrollo y construcción. | **3.** Promover el uso de áreas de estacionamiento exteriores con sistemas permeables de confinamiento celular para reducir las escorrentías pluviales. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DTOP y OGPe | $4 - $12 por PC | EPA | Mediano plazo | **R:** Reducir las inundaciones por concepto de escorrentías pluviales urbanas y mitigar la creación de islas de calor.<br>**M:** Reducir los pavimentos impermeables en los estacionamientos exteriores nuevos en 50 % para el año 2030 y en 70 % para 2040. |
| | **4.** Promover el uso de los techos naturados (*Green Roofs*) para mitigar la intensidad de las escorrentías pluviales en los centros urbanos y la ganancia de calor en edificios nuevos y existentes. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DTOP y OGPe | ± $20 - $25 por PC | EPA y USDOE | Largo plazo (7-10 años o más) | **R:** Reducir las inundaciones por concepto de escorrentías pluviales en los centros urbanos.<br>**M:** Lograr que 50 % de los techos de los edificios nuevos sean techos naturados para 2050. |
| | **5.** Iniciar un programa de monitoreo y vigilancia continua para hacer realmente efectiva la reglamentación que requiere planes de mitigación mediante el diseño de un plan para el control de la erosión y la prevención de la sedimentación en los proyectos de construcción. Utilizar tecnologías para un monitoreo preventivo más eficiente en proyectos de desarrollo urbano y evitar el impacto de la escorrentía y la sedimentación de aguas pluviales en las ya vulnerables zonas costeras y marítimas. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | OGPe y DRNA | $250,000 | DRNA | Corto plazo | **R:** Reducir la erosión en los proyectos de construcción (que actualmente no se supervisan por terceros) a través del monitoreo preventivo.<br>**M:** Lograr 100 % de monitoreo de los proyectos de construcción nuevos en 2030 o antes. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.1.1** Propiciar estrategias para viabilizar diferentes tecnologías de infraestructura verde en proyectos de desarrollo y construcción. | **6.** Propiciar la industria de reciclaje del hormigón luego de la demolición de edificios y superficies pavimentadas existentes para utilizarlo como material de relleno en las carreteras y como agregado grueso y fino en las mezclas de hormigón o asfalto, entre otras. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. | DRNA | $30 por tonelada | DTOP, DE y Departamento de la Vivienda federal | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Reducir la necesidad de producir cemento para obras de construcción nuevas mediante el reciclaje del hormigón en proyectos existentes que serán demolidos.<br><br>**M:** Reducción de 25 % para el 2030, 50 % para el 2050 y 80 % para el 2060. |
| | **7.** Requerir enverdecer todos los centros urbanos del país con áreas arboladas que cubran 40 % o más de las superficies impermeables duras (calles, aceras, plazas, etcétera) expuestas.<br>Se implantará con una lista de árboles frondosos apropiados para las diferentes circunstancias urbanas.[15] Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto.) | DRNA | $50 por árbol | DRNA | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Aumentar la cantidad de árboles en los centros urbanos sustituyendo las áreas impermeables para reducir las inundaciones urbanas y mitigar los efectos de las islas de calor.<br><br>**M:** No menos de 40 % para 2050. |
| | **8.** Iniciar la reubicación planificada de comunidades e infraestructura en zonas vulnerables al aumento del nivel del mar, inundaciones y deslizamientos, entre otros. Priorizar la adaptación *in situ* de las comunidades. Coordinar estos esfuerzos con las estrategias 2, 4 y 5 del objetivo C.1.1. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto.) | DV, JP, DRNA, DTOP y DDEC | $250,000 por unidad de vivienda<br><br>$500,000 por milla lineal de infraestructura | DV, JP, DRNA, DTOP, DDEC | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Reubicación planificada de viviendas e infraestructura en las zonas vulnerables.<br><br>**M:** 33 % de las viviendas e infraestructura reubicadas para 2035.<br><br>**M:** 67 % de las viviendas e infraestructura reubicadas para 2040.<br><br>**M:** 100 % de las viviendas e infraestructura reubicadas para 2050. |

[15] Este es un tema transversal que incide en el sector de forestación y ecosistemas terrestres (sección 7.9). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector. Véase también la **Guía de Reforestación para Puerto Rico**.

## J. Impulsar la planificación y [el] diseño de instalaciones turísticas, e iniciativas sostenibles, tales como diseño verde y directrices operacionales a través del Programa de Alojamiento de Certificación Verde de Puerto Rico, entre otras iniciativas.

### COA J.1: Hacer uso de las guías existentes para el diseño de las instalaciones ecoturísticas y de turismo sostenible de la Compañía de Turismo.[16]

**Mejores prácticas:**

- Guías de diseño para instalaciones de ecoturismo y turismo sostenible. https://tourism.pr.gov/wp-content/uploads/2020/06/0030520-Guias-de-Diseño-Inst-Ecoturísticas.pdf
- Sistema de certificación *Green Globes*, que atiende instalaciones ecoturísticas. https://www.greenglobe.com

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.1** Propiciar que las instalaciones ecoturísticas sean sostenibles y resilientes. | **1.** Revisar y atemperar las guías de diseño para instalaciones ecoturísticas y de turismo sostenible existentes de la Compañía de Turismo del DDEC a las actuales tecnologías, estrategias y modalidades. | Compañía de Turismo (DDEC) | $100,000 | DDEC | Corto plazo | **R:** Lograr la aplicación de las guías en los proyectos nuevos de ecoturismo y turismo sostenible.<br>**M:** Completar la revisión de las guías para 2025. |
| | **2.** Revisar y atemperar las guías operacionales para la certificación de instalaciones ecoturísticas y de turismo sostenible existentes de la Compañía de Turismo a las actuales tecnologías, estrategias y modalidades. | Compañía de Turismo (DDEC) | $100,000 | DDEC | Corto plazo | **R:** Lograr la aplicación de las guías operacionales para la certificación de las instalaciones ecoturísticas y de turismo sostenible existentes.<br>**M:** Completar la revisión del sistema de certificación para 2025. |
| | **3.** Adoptar las guías de diseño ecoturístico existentes de otras jurisdicciones que hayan demostrado éxito en su implantación tales como las establecidas bajo la certificación de *Green Globe*. | Compañía de Turismo (DDEC) | $100,000 | DDEC | Corto plazo | **R:** Ofrecer varias alternativas para la certificación de las instalaciones de ecoturismo y turismo sostenible.<br>**M:** Viabilizar las certificaciones de otras organizaciones reconocidas comenzando con Green Globe para 2025. |

[16] Este es un tema transversal que incide en el sector de turismo (sección 7.10). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## K. Promover proyectos de financiación que viabilicen económicamente iniciativas verdes en Puerto Rico.

**COA K.1: Desarrollar estrategias y políticas públicas que abonen a la financiación de proyectos que viabilicen económicamente iniciativas sostenibles y de descarbonización del ambiente construido, excepto en las viviendas de interés social o cuando no esté disponible el material de construcción apropiado.**

**Mejores prácticas:**

- *Green Bonds*:
  - https://one.oecd.org/document/DAF/CMF/AS(2023)3/REV2/en/pdf
  - https://www.climatebonds.net/market/explaining-green-bonds
  - https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/12/08/what-you-need-to-know-about-ifc-s-green-bonds
  - https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/green-bonds-an-introduction-and-legal-considerations
  - https://www.youtube.com/watch?v=ruXLhpXvhOE
- Se recomienda utilizar como base para este programa el modelo *LEED Zero* del *US Green Building Council*. Durante más de dos décadas, LEED ha brindado un marco para edificios y espacios de alto rendimiento y ha reducido las emisiones de gases de efecto invernadero a través de estrategias que afectan la tierra, la energía, el transporte, el agua, los desechos y los materiales. Sobre la base de ese trabajo, el USGBC ha desarrollado *LEED Zero*, un complemento de LEED que verifica el logro de los objetivos de cero neto en los edificios existentes.
  - *LEED Zero Carbon* reconoce las emisiones netas de carbono por consumo de energía a través de las emisiones de carbono evitadas o compensadas (*offset*) durante un período de 12 meses.
  - *LEED Zero Energy* reconoce un balance de uso de energía cero durante un período de 12 meses.
  - *LEED Zero Water* reconoce un balance de uso de agua potable cero durante un período de 12 meses.
  - *LEED Zero Waste* reconoce los edificios que logran la certificación TRUE (*Total Resource Use and Efficiency*) de GBCI (*Green Building Certification Institute*) en el nivel Platino del sistema LEED.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **1.** Desarrollar un programa de bonos “verdes” (*Green Bonds*) dirigidos a la financiación o refinanciación de proyectos ecológicos elegibles —nuevos o existentes —.<br><br>Colaborador potencial: Para la Naturaleza, la Asociación de Bancos y las cooperativas de Puerto Rico. | DRNA y Comisionado de Instituciones Financieras | Indeterminable | DRNA | Largo plazo (10 años) | **R:** Facilitar el financiamiento de iniciativas y proyectos de sostenibilidad, resiliencia y restauración ambiental a escala regional a través de todo el país.<br><br>**M:** Lograr el financiamiento de 20 % de todos los proyectos de sostenibilidad, resiliencia y restauración ambiental de escala regional para 2035. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **2.** Iniciar un programa de mercado local experimental y monitoreado de créditos de carbono (*Carbon Credits / Carbon Offsets*) adaptado a las realidades históricas de este instrumento, para contrarrestar las emisiones de carbono de proyectos de construcción nuevos o de remodelación.<br>**a.** Se recomienda considerar la restauración de humedales, ciénagas y pantanos. Podrían ser importantes en el proceso de secuestrar carbono. Enfocar los esfuerzos en *Carbon-Net*, en lugar de *Carbon-Negative*, podría continuar fomentando la inversión en infraestructura de tipo *Carbon Lock-In*, lo que continuaría afectando a las comunidades aledañas a estos tipos de infraestructuras.<br>Colaborador potencial: asesorarse con los esfuerzos que actualmente lleva a cabo Para la Naturaleza. | DRNA y Comisionado de Instituciones Financieras | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Facilitar el financiamiento de iniciativas y proyectos de sostenibilidad, resiliencia y restauración ambiental a escala regional a través de todo el país.<br>**M:** Iniciar un programa de mercado de financiación de créditos de carbono en 2030 o antes. |
| | **3.** Como medida temporal o concurrente con un programa de créditos de carbono, se propone el secuestro de $CO_2$ mediante el requerimiento de la compra y conservación a perpetuidad de áreas verdes, incluyendo la conservación de humedales y bosques, para cancelar las emisiones de nuevas construcciones o remodelaciones. Utilizar un algoritmo sencillo que haga equivalencias de secuestro de $CO_2$ con la siembra o protección de áreas verdes.<br>Colaborador potencial: UPR y ONG como Para la Naturaleza. | DRNA | $10,000 - $15,000 por cuerda de terreno<br>$60 por árbol a sembrar | Fondos propios de las entidades responsables | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Aumentar la capacidad de secuestro de $CO_2$ en las áreas verdes a través de todo el país.<br>**M:** Lograr el secuestro de 6 toneladas de carbono por cuerda de terreno mediante la siembra masiva de árboles en 10 % del área total del país en o 2033 o antes. Coordinar el esfuerzo con el proyecto Mapa 33 de Para la Naturaleza. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **4.** Desarrollar instrumentos de financiación atractivos para proyectos de descarbonización, dándoles prioridad a aquellos con períodos de recobro de 5 años o menos, incluyendo equipos, vehículos y enseres, entre otros. | DRNA y Comisionado de Instituciones Financieras | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Facilitar el financiamiento de iniciativas y proyectos de sostenibilidad, resiliencia y restauración ambiental que propicien la descarbonización del ambiente construido.<br>**M:** Lograr por lo menos tres instrumentos noveles de financiación en 2030 o antes. |
| | **5.** Respaldar los esfuerzos del Fondo Monetario Internacional para que Estados Unidos elimine progresivamente los subsidios a la industria de fósiles (incluyendo a Puerto Rico) con el fin de hacerlos más accesibles a las clases pobres, cuando en realidad son los más pudientes quienes consumen más. | Departamento de Estado y Comisaría Residente en Washington, D. C. | Nominal | Ninguno | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Eliminar la dependencia de los combustibles fósiles subsidiados, mediante el pago de su costo real.<br>**M:** Eliminación total de los subsidios a la industria de combustibles fósiles para el 2030, respaldando los esfuerzos del Fondo Monetario Internacional. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **6.** Estudiar programas exitosos de descarbonización en otras jurisdicciones de Estados Unidos y otros países y replicarlos, luego de una debida adaptación, a Puerto Rico. | DRNA | $100,000 | DRNA y EPA | Mediano y largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Lograr la descarbonización total de Puerto Rico, aplicando programas exitosos de otras jurisdicciones.<br>**M:** Reducción de la huella de carbono promedio del puertorriqueño (20 toneladas por año) en 10 % para 2030; 40 % para 2040, y 75 % para 2050. |
| | **7.** Iniciar un programa de descarbonización de construcciones nuevas y un programa paralelo de descarbonización de edificios (y ambientes construidos) existentes, incluyendo la vivienda de interés social. Se recomienda el uso de dos rutas de acción para lograr el objetivo:<br>**a.** Una ruta de cumplimiento prescriptivo (*Prescriptive Path*) donde, a través de listas de cotejo, se especifican acciones concretas para incluirse en un proyecto. Por ejemplo: toda la iluminación interior del edificio será mediante el uso de lámparas LED. Esta ruta será de más fácil y mejor aplicación en edificios residenciales, escuelas y pequeños negocios.<br>**b.** Una ruta de cumplimiento por rendimiento (*Performance Path*) donde a través de cómputos, simulaciones y modelaje digital se pueda pronosticar la cantidad de toneladas de $CO_2$ emitidas por pie cuadrado de edificio según la tipología edilicia aplicable. Por ejemplo: la cantidad máxima de emisiones de toneladas de carbono por pie cuadrado para un restaurante será de X. Esta ruta será de más fácil y mejor aplicación en edificios comerciales, institucionales e industriales de mayor escala. | PPPE, OGPe y DRNA | $100,000 | EPA y Departamento de la Vivienda federal | Mediano y largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Lograr la descarbonización de las construcciones nuevas mediante procesos fáciles de entender y ejecutar.<br>**M:** Reducción de 50 % de las emisiones de $CO_2$ en la industria de la construcción para 2035, y 100 % para 2050. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **8.** Incentivar un programa de hipotecas de eficiencia energética fundamentado en la cuantificación por métodos científicos y modelaje digital de los ahorros que se devengan de estrategias de conservación, eficiencia y generación de energía en las viviendas. Los ahorros proyectados de estas estrategias se consideran como ingresos del dueño, permitiendo un margen prestatario mayor, el cual a su vez puede ser utilizado para cubrir los gastos de estas mismas estrategias. | PPPE, OGPe y Comisionado de Instituciones Financieras | $5,000 -$30,000 por unidad | Departamento de la Vivienda federal (FHA) | Mediano y largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Lograr nuevas estrategias para financiar la eficiencia energética en las viviendas y reducir los consumos y costos energéticos.<br>**M:** Lograr que 25 % de las hipotecas de viviendas en Puerto Rico sea de este tipo para 2040, y 50 % para 2050. |
| | **9.** Hipotecas de sistemas fotovoltaicos incluidos como parte del financiamiento de viviendas nuevas. Esta estrategia permite amortizar el costo del sistema a 30 años ofreciendo beneficios inmediatos y economías potencialmente iguales o mayores al pago mensual del sistema. Se puede viabilizar si las entidades de financiación consideran las instalaciones como mejoras permanentes. | PPPE, OGPe y DDEC | $30,000 por vivienda | FHA | Mediano y largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Lograr la financiación integral de los sistemas fotovoltaicos sobre techos con el pago de la hipoteca de la vivienda obteniendo beneficios desde el momento inicial de la instalación del sistema.<br>**M:** Lograr que 25 % de las hipotecas de viviendas sea de este tipo para 2040, 50 % para el 2050 y 80 % para 2060. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K.1.1** Establecer programas que ayuden a la financiación de proyectos ecológicos viables en Puerto Rico. | **10.** Que la AEE / LUMA entre en el negocio de promover, vender, instalar y mantener sistemas de generación (fotovoltaica) distribuida sobre techos en Puerto Rico con resguardo de baterías. | AEE / LUMA | $30,000 por sistema residencial de 6 kW | AEE | Mediano y largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Lograr que LUMA / AEE financie sistemas de generación distribuida a través de sus abonados.<br>**M:** 50 % de los abonados con sistemas fotovoltaicos financiados por AEE / LUMA para 2040. |
| | **11.** Continuar con el programa de climatización de viviendas (*Weatherization Assistance Program-WAP*), que operó con fondos federales en Puerto Rico y que administró la entonces Oficina de Energía, adscrita al DDEC. | PPPE y Departamento de Hacienda | $15,000 por vivienda / $15 millones, total | PPPE | Corto plazo | **R:** Reinstalar el WAP.<br>**M:** Beneficiar a 1,000 unidades de vivienda de bajos recursos anualmente a partir de 2025. |
| | **12.** Invertir dinero en la investigación y el desarrollo de la tecnología *Witricity* (*Wireless Electricity*) a través de la compra de acciones en compañías que la desarrollan para lograr una infraestructura eléctrica con menos redes de distribución y menos vulnerable a eventos atmosféricos extremos. | DDEC y PPPE | $10 millones | DDEC y AEE / LUMA | Largo plazo (7 a 10 años o más) | **R:** Contar con nuevas tecnologías de generación y distribución de energía eléctrica en Puerto Rico.<br>**M:** Cosechar 5 % de los ingresos de la tecnología *Witricity* a nivel mundial para 2030 y 10 % luego de 2040. |

## L. Implantar medidas de adaptación y resiliencia con respecto a la infraestructura de transporte aéreo en Puerto Rico, que sean sustentables, sostenibles y amigables con el medioambiente.[15]

**COA L.1: Implantar urgentemente medidas para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (LMM) con el propósito de extender su vida útil.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la FAA está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **L.1.1** Extender la vida útil del LMM ante el aumento del nivel del mar. | **1.** Diseñar medidas a lo largo de la colindancia del LMM para atender el impacto a corto plazo del aumento del nivel del mar sobre este aeropuerto. | Autoridad de los Puertos | $70 millones | FAA | Corto plazo (inmediato) | **R:** Terminar el diseño de las medidas en un año.<br>**M:** Identificar medidas en 6 meses. |
| | **2.** Implantar urgentemente medidas a lo largo de la colindancia del LMM para enfrentar a corto plazo el impacto del aumento del nivel del mar. | | $60 millones por cada milla de extensión | | Mediano plazo | **R:** Implantar en tres años las medidas para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el LMM, luego de adjudicado el contrato.<br>**M:** Adjudicar el contrato de implantación un año después de finalizado el diseño. |

[15] Este es un tema transversal que incide en los sectores de transportes y movilidad (sección 7.3) y de turismo (sección 7.10). Aunque esta nueva guía, sus cursos de acción y estrategias se asemejan a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA L.2: Establecer un comité interagencial, presidido por la Autoridad de los Puertos (AP), para evaluar alternativas en torno a proveer el servicio de transporte aéreo que actualmente ofrece el LMM ante el impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático, e informar su recomendación al gobernador.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la FAA está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **L.2.1** Asegurar que Puerto Rico cuente con infraestructura de transporte aéreo adecuada para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña ante el embate del cambio climático. | **1.** Crear mediante una orden ejecutiva el comité interagencial, presidido por la AP, para evaluar alternativas sobre cómo garantizar los servicios aéreos que actualmente ofrece el LMM ante el impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático. El Comité Interagencial debe consultar a entes privados, organizaciones profesionales y los sectores pertinentes. | Gobernador de Puerto Rico | Nominal | Oficina del Gobernador | Corto plazo (inmediato) | **R:** Orden ejecutiva para crear el comité interagencial en seis meses.<br>**M:** Borrador de la orden ejecutiva en tres meses. |
| | **2.** Evaluar alternativas para atender el tráfico aéreo que actualmente maneja el LMM, en vista del impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático, e informar al gobernador la recomendación seleccionada. | Comité Interagencial | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Mediano plazo | **R:** Se somete el informe final con recomendación al gobernador en dos años.<br>**M:** Identificar las alternativas y evaluar su viabilidad, en un año. |

**COA L.3: Realizar mejoras y ampliar servicios en aeropuertos regionales para promover la redundancia en la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la FAA está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **L.3.1** Mejorar la redundancia de la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico. | **1.** Identificar medidas de adaptación al cambio climático para cada uno de los aeropuertos regionales. | AP | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Corto plazo (inmediato) | **R:** Identificación de medidas de adaptación para cada aeropuerto regional en dos años.<br>**M:** Identificación de medidas de adaptación para 75 % de los aeropuertos regionales en un año. |
| | **2.** Adaptar los aeropuertos regionales al impacto del cambio climático con el propósito de aumentar la redundancia de la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico. | | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Aeropuertos regionales adaptados al cambio climático en 5 años.<br>**M:** Diseño de medidas de adaptación en tres años. |
| | **3.** Construir infraestructura para el control de inundaciones en el Aeropuerto Internacional Mercedita de Ponce. | AP y GPR | $20 millones a $40 millones | DHS, GPR, FAA, USDOT, EDA, USACE | Largo plazo (10 a 20 años) | **R:** Completar la construcción de las medidas de control de inundaciones.<br>**M:** Construir 100 % de la infraestructura para el control de inundaciones. |

**Tabla 7.3.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **transportes y movilidad**.

**A. Adoptar medidas en materia de transportes y movilidad encaminadas a reducir la vulnerabilidad y las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI), para avanzar hacia un modelo de transporte público, colectivo e intermodal que fomente el uso generalizado del transporte público y otras formas de transporte sostenible sin emisiones de GEI.**

**COA A.1: Desarrollar y expandir los sistemas de transportación colectiva.**

**Mejores prácticas:**

- Al ser procesos estandarizados, no es necesaria información de mejores prácticas.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Mejorar y expandir los sistemas de transportación colectiva actuales. | **1.** Mejorar y expandir los servicios de la Autoridad Metropolitana de Autobuses (AMA) en el área metropolitana de San Juan. | AMA, **Autoridad de Transporte Integrado (ATI)** | $30 millones | **Administración Federal de Transportación Colectiva (FTA)** y **Gobierno de Puerto Rico (GPR)** | Corto plazo | **R:** Mejora y expansión de la AMA en el área metropolitana de San Juan.<br>**M:** Aumento de rutas y frecuencia en comparación con el año de aprobación del P-MARCC. |
| | **2.** Realizar un estudio sobre la viabilidad de extender el tren urbano mediante nuevas líneas a otros centros urbanos y municipios. | ATI, ACT y DTOP | $1 millón | FTA y GPR | Corto plazo | **R:** Si el estudio demuestra que es viable, se construyen nuevas alineaciones del tren urbano.<br>**M:** Estudio completado en el período de un año. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

**COA A.2: Establecer nuevos sistemas de transportación colectiva.**

**Mejores prácticas:**

- Al ser procesos estandarizados, no es necesaria información de mejores prácticas.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado[1] | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Crear sistemas de transportación colectiva en otras regiones metropolitanas de Puerto Rico para reducir la dependencia de viajar en autos privados. | **1.** Crear sistemas de transportación colectiva para las regiones de Aguadilla-Mayagüez, Ponce y Arecibo que complementen los servicios de los sistemas municipales de trolis y los porteadores públicos. | ATI y municipios | $20 millones a $30 millones por región | FTA y GPR | Mediano plazo | **R:** Se establecen los sistemas de transportación colectiva.<br>**M:** Estudio completado en el período de 4 a 5 años. |
| **A.2.2** Crear rutas de conectividad interregional. | **1.** Crear rutas de transportación colectiva a través de carriles exclusivos que conecten los diferentes sistemas de transportación y sus respectivas regiones. Ej. Una ruta que conecte la región oeste (Aguadilla-Mayagüez) y, a su vez, los principales nodos de conexión internacional (aeropuerto de Aguadilla y Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín). | ATI y municipios | $10 millones a 15 millones | FTA, GPR y **Administración Federal de Carreteras (FHWY)** | | |

**COA A.3: Renovar la flota para la transportación colectiva con la compra de vehículos de bajas emisiones o eléctricos.**

**Mejores prácticas:**

- El estado de Nueva York amplió la flota de autobuses de cero emisiones. https://www.governor.ny.gov/news/earth-day-governor-hochul-announces-mta-expand-next-wave-deployment-zero-emission-buses-six

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Incentivar a través de créditos contributivos la compra de medios de transporte eléctricos o de baja emisión de gases para los proveedores de transportación colectiva. | **1.** Incluir los medios de transporte eléctricos y de baja emisión de gases dentro del incentivo contributivo que se otorga actualmente a los porteadores públicos para la compra de autobuses. | ATI y Departamento de Hacienda | Se necesitan enmiendas al código contributivo. Los costos deberán ser determinados por las entidades responsables. Por ser un crédito contributivo, la **Junta de Supervisión Fiscal (JSF)** tendría que aprobar esta iniciativa<br><br>El costo de los autobuses eléctricos suele ser más alto. En promedio, su precio de compra está entre $700,000 a $800,000. Cada una de las 10 unidades nuevas (híbridas) que la AMA recibió en marzo de 2023 tuvo un costo de $500,000. | A determinarse por las entidades responsables | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Lograr la meta establecida por la política pública federal para todo Estados Unidos para 2035.<br><br>**M:** De aprobarse el crédito, alcanzar la meta de 100 % de vehículos de bajas emisiones o eléctricos para 2035. |

## B. Fomentar la reducción del uso del transporte privado con el fin de fomentar el uso de infraestructuras de transporte público.

### COA B.1: Incentivar el uso de la transportación colectiva mediante programas de descuentos.

**Mejores prácticas:**

- *Metropass for Employers, "When you offer commuter benefits at your company, employees save money and arrive at work relaxed".* https://www.metrotransit.org/metropass-overview
- *Small businesses now can buy SEPTA Key cards to be given as employee perks.* https://www.phillyvoice.com/free-septa-key-cards-workers-small-businesses/
- *Student Pass can provide students with reliable transportation.* https://www.metrotransit.org/student-pass
- *Student Pass — Unlimited Monthly Travel.* https://www.njtransit.com/studentpass

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Fomentar el uso de la transportación colectiva a través del ofrecimiento de tarifas especiales para ciertos sectores de la sociedad. | **1.** Crear un programa patronal de accesibilidad para el trabajo que propicie el ofrecimiento de tarjetas con tarifas especiales para el uso del transporte colectivo como medio de arribo a los centros laborales.<br><br>Colaboradores potenciales: patronos privados. | ACT, DTOP y GPR<br><br>DTOP y la ACT pueden acercarse al sector privado para que participe de esta iniciativa a través de programas que reciben fondos federales, tal como se ha hecho en otras jurisdicciones | $20 millones | FTA, Departamento del Trabajo federal y GPR | Corto plazo | **R:** El programa se extiende a todos los patronos en donde existe un sistema de transportación colectiva, en un período de 2 a 3 años.<br><br>**M:** Lograr que el 20 % de los empleados estén adscritos a este programa en 2035. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Fomentar el uso de la transportación colectiva a través del ofrecimiento de tarifas especiales para ciertos sectores de la sociedad. | **2.** Crear un programa de tarifa especial para que estudiantes usen el transporte colectivo.<br><br>Colaboradores potenciales: Departamento de Educación, universidades, institutos de educación superior.<br><br>Nota: Existe una tarifa especial para estudiantes que se limita a la AMA y al tren. Aquí la ACT se encargaría de extenderlo a todo el sistema colectivo, que incluye a los porteadores y otros proveedores. Hasta ahora, la JSF no ha revisado las tarifas de la AMA, ya que esta se subsidia en 80 % con fondos federales. Ello no significa que la Junta no pueda revisar las tarifas en el futuro. | AMA, ACT y DTOP | $30 millones | GPR, Departamento de Educación federal, FTA | Corto plazo | **R:** El programa se extiende a todos los estudiantes de escuelas públicas y privadas y de instituciones postsecundarias en donde existe un sistema de transportación colectiva, en un período de 2 a 3 años.<br><br>**M:** Lograr el ingreso al programa de 80 % de los estudiantes de escuelas de nivel elemental, intermedio y superior, y de 50 % de los estudiantes a nivel postsuperior para 2035. |

**COA B.2: Establecer un cargo adicional en la tarifa que se cobra en los estacionamientos públicos y privados localizados en los centros urbanos y corredores comerciales.**

**Mejores prácticas:**

- *Parking Fee Hike Will Fund Low-Income Transit Rides*. https://www.wweek.com/news/city/2022/07/05/parking-fee-hike-will-fund-low-income-transit-rides/
- *Driving downtown? Get ready to pay extra*. https://www.politico.com/news/2021/03/21/congestion-pricing-biden-coronavirus-477288
- *3 Enormous Benefits to Charging the Right Price for Parking*. https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-04-02/3-enormous-benefits-to-charging-the-right-price-for-parking

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Buscar que se minimice el uso y tránsito de los vehículos privados dentro de las ciudades que cuenten con sistemas de transportación colectiva. | **1.** Establecer un cargo adicional a la tarifa cobrada por los operadores de estacionamientos en los centros y corredores urbanos dentro de la ciudad. | Municipios y Departamento de Hacienda | Indeterminable | A determinarse por las entidades correspondientes | Mediano plazo | **R:** El tráfico de vehículos en la ciudad se reduce 20 % para 2035.<br><br>**M:** Comparación de los niveles de tráfico para la fecha determinada con los niveles de tráfico de 2023 para determinar si se logró la meta de reducción de 20 % . |
| | **2.** Establecer tarifas especiales de los sistemas de transportación colectiva en los centros periféricos como medio de fomento de la entrada de los ciudadanos a la ciudad a través del transporte colectivo. | Municipios, ATI y Departamento de Hacienda | | | | |

## C. Impulsar la eficiencia energética en los vehículos y la diversificación energética mediante incentivos económicos y administrativos a los consumidores, para lo que se deberá evaluar la viabilidad y conveniencia de establecer un reembolso del arbitrio pagado por la adquisición de vehículos de motor impulsados por energía alterna o combinada, o de establecer cualquier otro método que estimule la adquisición de este tipo de vehículos.

### COA C.1: Crear un crédito contributivo para la adquisición de medios de transporte híbridos, eléctricos o de cero emisiones de GEI.

**Mejores prácticas:**

- *Used Clean Vehicle Credit.* https://www.irs.gov/credits-deductions/used-clean-vehicle-credit
- *State and Federal Electric Vehicle Funding Programs.* https://www.mass.gov/service-details/state-and-federal-electric-vehicle-funding-programs

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Hacer viable y accesible a la ciudadanía la adquisición de un medio de transporte híbrido, eléctrico o de cero emisiones de GEI. | **1.** Crear un crédito contributivo al arbitrio de entrada que pagan los vehículos.<br>**2.** Establecer un programa de descuento en los cargos por tablillas, marbetes e inscripción para todos los vehículos híbridos y eléctricos comprados.<br>**3.** Crear incentivos para la compra de otros medios de transporte que generen cero emisiones de GEI. | Departamento de Hacienda y DTOP | Se necesitan enmiendas al código contributivo y a las órdenes administrativas. Las entidades responsables deben determinar los costos. Por ser un crédito contributivo, la JSF tendría que aprobar esta iniciativa. | GPR y el **Departamento de Transportación federal (USDOT)** | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Para 2035, 50 % de los vehículos comprados y registrados en Puerto Rico serán eléctricos o híbridos. Esto se alinearía con la política federal para el mismo año.<br>**M:** Comparar para la fecha determinada si se logró que 50 % de los vehículos comprados en Puerto Rico sean híbridos o eléctricos. |

**D. Fomentar zonas de estacionamiento prioritarias, gratuitas o a descuento para vehículos híbridos o aquellos que funcionan con métodos alternos, entre las cuales, se puede incluir la reducción de tarifas y la disponibilidad de espacios preferentes, entre otras [*sic*].**

**COA D.1: Crear espacios de estacionamientos para vehículos híbridos o eléctricos.**

**Mejores prácticas:**

- *The City of Boston is supporting the growth of electric vehicles. To do this, we're installing charging stations in municipal lots available to the public*. https://www.boston.gov/news/city-boston-gives-electric-vehicle-program-jolt

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Promover la utilización de vehículos híbridos y eléctricos a través del establecimiento y priorización de espacios de estacionamiento. | **1.** Crear un programa para el realineamiento y la rehabilitación de los espacios de estacionamiento en lugares y edificaciones públicas y privadas para vehículos híbridos y eléctricos. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante reglamento o resolución normativa de la JP. La OGPe no podrá implementar estas recomendaciones por sí sola, sino que depende de la normativa esbozada por la JP para su eventual ejecución. (Ver Ley núm. 161-2009 y Reglamento Conjunto.) | GPR, DTOP, AEP y municipios[4] | $50 millones | USDOT y GPR | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** 25 % de todos los estacionamientos disponibles para el uso exclusivo de los vehículos híbridos y eléctricos para 2035.<br>**M:** Comparar la cantidad de estacionamientos disponibles para la fecha determinada y medir si se logró que 25 % de esos estacionamientos estén disponibles para los vehículos híbridos o eléctricos. |

[4] Hay muchas agencias que pueden crearlo. También puede hacerse mediante una orden ejecutiva que encomiende a cada agencia habilitar sus instalaciones. El COA se deja abierto para que, en el ejercicio de su discreción, el gobernador determine cuál agencia u oficina lo implementará.

## E. Garantizar el desarrollo de infraestructuras eléctricas con capacidad suficiente para la demanda adicional de electricidad que conllevará la transición hacia el vehículo eléctrico y que se adecúen a la movilidad eléctrica y a la electrificación del transporte.

### COA E.1: Construir infraestructura de recarga para los vehículos eléctricos.[5]

**Mejores prácticas:**

- *MassEVIP Public Access Charging is aimed at making electric vehicles (EVs) and EV charging stations more widely available across Massachusetts.* https://www.mass.gov/how-to/apply-for-massevip-public-access-charging-incentives
- *FHWA Approves MassDOT Plan for EV Charging Stations on Major Highway Corridors in Massachusetts.* https://www.mass.gov/news/fhwa-approves-massdot-plan-for-ev-charging-stations-on-major-highway-corridors-in-massachusetts

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Facilitar la accesibilidad a lugares e instalaciones de recarga para vehículos eléctricos. | **1.** Crear un programa para subvencionar la construcción de infraestructura e instalaciones de recarga para vehículos eléctricos.<br><br>Nota: por ser un área vulnerable a movimientos sísmicos, los códigos de construcción de Puerto Rico son más rigurosos (estos fueron revisados después del huracán María). Si cumplen con los códigos de diseño, las carreteras y edificaciones de estacionamientos soportan el peso de los vehículos eléctricos. | GPR y municipios | $200 millones | GPR, USDOT, USDOE y la **Administración de Desarrollo Económico federal (EDA)** | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** 50 % de las instalaciones públicas y privadas con estaciones de recarga para vehículos eléctricos en 2035.<br><br>**M:** Alcanzar la meta de que 50 % de las instalaciones públicas y privadas tenga estaciones de recarga para vehículos eléctricos. |
| | **2.** Crear un programa para facilitar la construcción de generadores de energía verde (eólica o solar) en los centros de recarga para vehículos eléctricos. | | $500 millones a $700 millones | | Mediano a largo plazo (5 a 15 años) | |

[5] Este es un tema transversal que incide en el sector de energía (sección 7.1). Aunque el curso de acción se asemeja a otros incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA E.2: Crear el programa para el desarrollo y la capacitación de la fuerza laboral para el sector de vehículos eléctricos.**

**Mejores prácticas:**

- *Preparing Alabama's workforce for electric vehicle future.* https://abc3340.com/news/local/preparing-alabamas-workforce-for-electric-vehicle-future
- *NSC is a collaborative of ten colleges in nine states, funded by a U.S. Department of Labor grant to develop one-year, 30-credit certificate programs in five Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) fields.* https://oli.cmu.edu/courses/electric-vehicle-technology-nsc-stem-pathways-open-free/
- *University of Northwestern Ohio to Offer Hybrid EV Degree.* https://www.govtech.com/education/higher-ed/university-of-northwestern-ohio-to-offer-hybrid-ev-degree

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.1** Fomentar la creación y educación de técnicos para atender y dar mantenimiento a la infraestructura, instalaciones y vehículos eléctricos. | **1.** Crear programas educativos a nivel de escuelas vocacionales y de instituciones de educación superior para preparar y capacitar a técnicos especializados en vehículos eléctricos y su infraestructura.<br><br>Colaboradores potenciales: instituciones de educación superior. | GPR y Departamento de Educación | $20 millones | GPR, USDOT, **Departamento de Educación federal (USDE)** y USDOE | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** 50 % de los mecánicos y técnicos automotrices certificados para trabajar con vehículos eléctricos y su infraestructura para 2035.<br><br>**M:** Alcanzar la meta de que el 50 % de los mecánicos registrados bajo el Departamento de Estado estén certificados para trabajar con vehículos eléctricos para la fecha determinada en este plan. |

## F. Evaluar el uso de otras tecnologías para los vehículos de transporte público no dependientes de combustibles fósiles.

**COA F.1: Alinear la evaluación a la política pública federal que se adopte para aplicarla a las leyes o reglamentos de las agencias relacionadas con el sector.**

**Mejores prácticas:**

- *Transit Tracker. Chicago Transit Authority*. https://www.transitchicago.com/tracker/
- Iniciativa de señal de prioritaria para la transportación colectiva. https://nap.nationalacademies.org/read/25816/chapter/6
- Tecnología de vehículos conectados. https://www.itskrs.its.dot.gov/decision-support/case-study/piloting-connected-vehicle-technology-interstate-80-wyoming

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Promover el establecimiento y la operación de la tecnología de transportación inteligente (*Intelligent transportation*) en los vehículos de transportación colectiva con el fin de crear un sistema de transportación eficiente y reducir las emisiones de GEI. | **1.** Instalar dispositivos del sistema de posicionamiento global **(GPS, por sus siglas en inglés)** para que tanto los gerentes del sistema como los usuarios puedan monitorear en tiempo real los vehículos de transportación colectiva en servicio. | ACT, CSP y AMA | $5 millones | GPR, FTA y USDOT | Corto plazo | **R:** 100 % de los vehículos de transporte colectivo con los dispositivos de GPS instalados y en operación.<br>**M:** Certificación de la instalación y operación de dichos dispositivos en la flota de transportación colectiva. |
| | **2.** Establecer la iniciativa de señal prioritaria para la transportación colectiva (*transit signal priority*). Instalar en cada vehículo de transportación colectiva un dispositivo electrónico y sensores en intersecciones con semáforos seleccionados, con el propósito de dar prioridad de movimiento a los vehículos de transportación colectiva en esas intersecciones. El efecto de esta medida es reducir el tiempo de recorrido de las rutas y minimizar las emisiones de gases. | | $30 millones | GPR, FTA, FHWY y USDOT | Mediano plazo | **R:** Instalación de estos dispositivos en la flota de transportación colectiva y sensores en aquellas intersecciones seleccionadas.<br>**M:** Reducción del tiempo de traslado en comparación con el año base del plan (2023). |
| | **3.** Establecer la tecnología de vehículos conectados (*Connected vehicle technologies*) promovida por el USDOT. Esta tecnología permite que los vehículos, los aparatos móviles y la infraestructura digital instalada en el sistema de carreteras se comuniquen e intercambien datos de las condiciones del tráfico u otros incidentes (como accidentes vehiculares) en tiempo real. La adopción de esta tecnología tiene el potencial de aumentar la movilidad y reducir el impacto ambiental. | | $40 millones | GPR, FTA, FHWY, USDOT y FCC | Largo plazo (11 a 20 años) | **R:** 100 % de la flota de transportación colectiva tiene instalada esta tecnología.<br>**M:** La certificación de instalación y operación de dichos dispositivos en la flota de transportación colectiva. |

## G. Implantar medidas de adaptación y resiliencia con respecto a la infraestructura de transporte aéreo y la infraestructura de transporte marítimo en Puerto Rico, que sean sustentables, sostenibles y amigables con el medioambiente.[6]

**COA G.1: Implantar urgentemente medidas para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (LMM) con el propósito de extender la vida útil de este aeropuerto.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la **Federal Aviation Administration (FAA)** está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Extender la vida útil del LMM ante el aumento del nivel del mar. | **1.** Diseñar medidas a lo largo de la colindancia del LMM para atender el impacto a corto plazo del aumento del nivel del mar sobre este aeropuerto. | **Autoridad de los Puertos (AP)** | $70 millones | FAA | Corto plazo (inmediato) | **R:** Terminar el diseño de las medidas en un año.<br>**M:** Identificar medidas en seis meses. |
| | **2.** Implantar urgentemente medidas a lo largo de la colindancia del LMM para enfrentar a corto plazo el impacto del aumento del nivel del mar. | | $60 millones por cada milla de extensión | | Mediano plazo | **R:** Implantar en tres años las medidas para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el LMM, luego de adjudicado el contrato.<br>**M:** Adjudicar el contrato de implantación un año después de finalizado el diseño. |

[6] Este es un tema transversal que incide en los sectores de infraestructuras (sección 7.2) y de turismo (sección 7.10). Aunque esta nueva guía, sus cursos de acción y estrategias se asemejan a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA G.2: Establecer un comité interagencial, presidido por la AP, para evaluar alternativas en torno a proveer el servicio de transporte aéreo que actualmente ofrece el LMM ante el impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático, e informar su recomendación al gobernador.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la FAA está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.2.1** Asegurar que Puerto Rico cuente con infraestructura de transporte aéreo adecuada para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña ante el embate del cambio climático. | **1.** Crear mediante una orden ejecutiva el comité interagencial, presidido por la AP, para evaluar alternativas sobre cómo garantizar los servicios aéreos que actualmente ofrece el LMM ante el impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático. El Comité Interagencial debe consultar a entes privados, organizaciones profesionales y los sectores pertinentes. | Gobernador de Puerto Rico | Nominal | Oficina del Gobernador | Corto plazo (inmediato) | **R:** Orden ejecutiva para crear el comité interagencial en seis meses.<br>**M:** Borrador de la orden ejecutiva en tres meses. |
| | **2.** Evaluar alternativas para atender el tráfico aéreo que actualmente maneja el LMM, en vista del impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático, e informar al gobernador la recomendación seleccionada. | Comité Interagencial | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Mediano plazo | **R:** Se somete el informe final con recomendación al gobernador en dos años.<br>**M:** Identificar las alternativas y evaluar su viabilidad, en un año. |

**COA G.3: Realizar mejoras y ampliar servicios en aeropuertos regionales para promover la redundancia en la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

Actualmente, la FAA está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no aplican a Puerto Rico.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.3.1** Mejorar la redundancia de la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico. | **1.** Identificar medidas de adaptación al cambio climático para cada uno de los aeropuertos regionales. | AP | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Corto plazo (inmediato) | **R:** Identificación de medidas de adaptación para cada aeropuerto regional en dos años.<br>**M:** Identificación de medidas de adaptación para 75 % de los aeropuertos regionales en un año. |
| | **2.** Adaptar los aeropuertos regionales al impacto del cambio climático con el propósito de aumentar la redundancia de la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico. | | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Aeropuertos regionales adaptados al cambio climático en 5 años.<br>**M:** Diseño de medidas de adaptación en tres años. |
| | **3.** Construir infraestructura para el control de inundaciones en el Aeropuerto Internacional Mercedita de Ponce. | AP y GPR | $20 millones a $40 millones | DHS, GPR, FAA, USDOT, EDA y USACE | Largo plazo (10 a 20 años) | **R:** Completar la construcción de las medidas de control de inundaciones.<br>**M:** Construir 100 % de la infraestructura para el control de inundaciones. |

**COA G.4: Desarrollar microrredes eléctricas en los aeropuertos de Puerto Rico.**[7]

**Mejores prácticas:**

- *JFK airport's new terminal will be powered by a microgrid and the largest rooftop solar array in New York City*. https://www.businessinsider.com/jfk-airport-nyc-solar-microgrid-energy-roof-terminal-2023-1
- *Energy Master Plan, Low Carbon Microgrid Assessment and Preliminary Design at Denver International Airport*. https://www.burns-group.com/project/energy-master-plan-low-carbon-microgrid-assessment-and-preliminary-design-at-denver-international-airport/
- *Seeking Space for Solar Farms, Cities Find Room at Their Airports*. https://www.nytimes.com/2021/12/07/business/airports-solar-farms.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.4.1** Hacer que cada aeropuerto sea sustentable y autónomo energéticamente durante y después del impacto de un evento natural. | **1.** Construir en cada aeropuerto público microrredes eléctricas a través de generadores de gas y fincas solares, como sistemas de resguardo en caso de interrupciones en el sistema eléctrico de Puerto Rico. | AP y GPR | $150 millones | DHS, GPR, FAA, USDOT, EDA y USDOE | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Para 2040, todos los aeropuertos tienen su propia microrred.<br>**M:** Lograr la construcción y operación de estas microrredes en todos los aeropuertos públicos para la fecha determinada. |

[7] Este es un tema transversal que incide en el sector de energía (sección 7.1). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA o estrategias incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## COA G.5: Desarrollar instalaciones e infraestructura para combustible sostenible de avión.

**Mejores prácticas:**

- *U. S. Airport Infrastructure and Sustainable Aviation Fuel*. https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78368.pdf
- *San Francisco Airport has been working to build collaborative partnerships to expand deliveries and infrastructure for Sustainable Aviation Fuel (SAF)*. https://www.flysfo.com/about/sustainability/reducing-carbon-emissions/sustainable-aviation-fuel

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.5.1** Desarrollar y construir infraestructura que garantice energía sostenible para los aviones. | **1.** Desarrollar infraestructura a fin de generar suficiente energía para los aviones.<br><br>Nota: actualmente solo se está considerando que los aviones pequeños funcionen a base de energía eléctrica. Se trata de aviones con capacidad de 30 pasajeros o menos, como los Cessna SAAB340, utilizados para rutas cortas. Para aviones de mayor capacidad, como los A320, 737, 747, 777, entre otros, la industria y las agencias reguladoras se están orientando al uso de combustible sustentable e hidrógeno; este último está en fase experimental aún. | DDEC y GPR | $100 millones | DHS, GPR, USDOT, EDA y DOE | Mediano a largo plazo (5 a 15 años) | **R:** La construcción de una refinería para elaborar combustible sostenible de avión para 2040.<br><br>**M:** Lograr la construcción de estas instalaciones para la fecha determinada. |
| | **2.** Construir tanques para combustible sostenible de aviación en cada aeropuerto en Puerto Rico. | AP y GPR | $120 millones | DHS, USDOT, FAA, EDA y GPR | Largo plazo (10 a 15 años) | **R:** El gobierno federal proyectó que, para 2050, 100 % de la aviación esté usando combustible sostenible y que los aviones pequeños para vuelos cortos sean eléctricos.<br><br>**M:** Lograr la construcción de estas instalaciones (100 %) para la fecha determinada por la política pública federal. |

**COA G.6: Solicitar la aplicación a Puerto Rico del programa federal de autopista marítima M-2.**

**Mejores prácticas:**

- *MARAD Announces Four New Marine Highway Project Designations*. https://www.transportation.gov/briefing-room/marad-announces-four-new-marine-highway-project-designations

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.6.1** Desarrollar y ampliar las opciones de servicio de autopistas marítimas y facilitar su mayor integración en el actual sistema de transporte de superficie de Estados Unidos, especialmente donde el transporte por agua es la opción más eficiente, eficaz y sostenible.<br><br>**G.6.2** Disminuir la congestión vehicular terrestre.<br><br>**G.6.3** Mejorar la sustentabilidad ambiental del sistema de transporte de Estados Unidos mediante el uso de menos energía y la reducción de las emisiones al aire (como los GEI) por pasajero o tonelada-milla de carga transportada.<br><br>**G.6.4** Mejorar la resiliencia y la redundancia del sistema de transporte proporcionando alternativas de transporte durante tiempos de desastre o emergencia nacional. | **1.** Reconstruir y ampliar la capacidad operacional de los 15 puertos públicos de Puerto Rico para que sean resilientes y redundantes ante cualquier evento natural. | DDEC, AP y GPR | $300 millones | DHS, GPR, USDOT, EDA, DOE | Largo plazo (10 a 20 años) | **R:** Para 2050, todos los puertos públicos deberán ser resilientes y reconstruidos bajo los nuevos códigos de construcción.<br><br>**M:** Métricas a ser establecidas por los estudios y planes de mitigación del gobierno de Puerto Rico, con apoyo del gobierno federal, para estas instalaciones. |
| | **2.** Crear centros de investigaciones con el fin de promover nueva tecnología para las operaciones marítimas y la creación e innovación de motores de embarcaciones de mayor eficiencia y menos emisiones de GEI.<br><br>Colaboradores potenciales: instituciones de educación superior | DDEC y GPR | $20 millones | DHS, USDOT, USDE, EDA y GPR | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Se crea un instituto investigativo que en 2035 pueda satisfacer las exigencias federales para la investigación e innovación.<br><br>**M:** Lograr la creación de estos programas a nivel de las instituciones de educación secundaria (100 %). |

**COA G.7: Desarrollar microrredes eléctricas en los puertos marítimos públicos de Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

- *Solar Microgrid to 'Green' North America's Largest Port*. https://www.microgridknowledge.com/google-news-feed/article/11432441/solar-microgrid-to-8216green8217-north-america8217s-largest-port

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.7.1** Hacer que cada puerto marítimo público sea sustentable y autónomo energéticamente durante y después del impacto de un evento natural. | **1.** Construir en cada puerto marítimo público microrredes eléctricas a través de generadores de gas y fincas solares, como sistemas de resguardo en caso de pérdida energética de la red eléctrica de Puerto Rico. | AP y GPR | $120 millones | DHS, GPR, MARAD, USDOT, EDA y DOE | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Para 2040, todos los puertos marítimos públicos deberán contar con su propia microrred.<br>**M:** Lograr la construcción de estas instalaciones para la fecha determinada (100 %). |

**COA G.8: Mitigar y reducir los efectos de un evento natural y del alza en el nivel del mar en los puertos marítimos públicos.**

**Mejores prácticas:**

- En la transportación marítima, para efectos de mitigación, la localización juega un papel importante. A mayor latitud, mayor diferencia entre la marea alta y baja. La diferencia es mayor cuando se suma un evento natural. Lo que ocurre en el mar en Alaska es muy diferente a lo que ocurre en Puerto Rico. Actualmente, se analizan estrategias para proteger los puertos del Golfo y de Florida. Se recomienda analizar la viabilidad de aplicar a Puerto Rico las estrategias que se adopten en esos lugares.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.8.1** Promover la mitigación, resiliencia y redundancia de los puertos marítimos públicos ante el embate de un evento natural y el alza en el nivel del mar. | **1.** Realizar un estudio y considerar, ante la proyectada alza en el nivel del mar:<br>**a.** la construcción de una barrera marítima para los puertos a lo largo de límites con la línea de costa, como medida para evitar la inundación costera;<br>**b.** la construcción y elevación de la altura de los muelles. | AP y GPR | A ser estimado por el estudio | DHS, GPR, MARAD, USDOT, EDA y USACE | Largo plazo (antes de 2050) | **R:** Se reduce la disrupción en las operaciones marítimas. El estudio determinará las métricas a seguir.<br>**M:** Reducir la paralización de las operaciones marítimas y proteger la infraestructura. |

**Tabla 7.4.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **residuos sólidos**.

**A. Reducir la vulnerabilidad de la población y las emisiones de gases de efecto de invernadero, priorizando la estrategia de desperdicio cero a fin de ahorrar material y de reducir su procesamiento[,] y la implementación de medidas que logren disminuir para el 2030 un 60 % [de] los desperdicios sólidos depositados en vertederos.**

**COA A.1: Desarrollar e implantar un sistema de manejo sustentable de materiales y residuos.**

**Mejores prácticas:**

- Diseño regenerativo (*regenerative design*) como forma de lograr el manejo sustentable de materiales. https://planetb.com.au/2020/03/10/why-regenerative-design-is-the-sustainability-focus-for-2020/
- Interface: https://www.interface.com/US/en-US.html?f=1&r=1

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Educar, capacitar y empoderar al pueblo de Puerto Rico para entender la estrategia de manejo sustentable de materiales. | **1.** Crear y capacitar a un grupo de trabajo para la educación en sostenibilidad y resiliencia.<br><br>Colaborador potencial: **Universidad de Puerto Rico (UPR).** | DRNA y **Departamento de Educación (DE)** | $25,000 | Programa de EPA. *Consumer Recycling Education and Outreach Grant Program (CREOGP).* https://www.epa.gov/infrastructure/consumer-recycling-education-and-outreach-grant-program#eligibleapplicants | Corto plazo | **R:** Grupo de educación en sostenibilidad creado con organigrama.<br><br>**M:** Grupo de trabajo para la educación en sostenibilidad y resiliencia capacitado. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado[1] | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Educar, capacitar y empoderar al pueblo de Puerto Rico para entender la estrategia de manejo sustentable de materiales. | **2.** Crear y utilizar material educativo en sostenibilidad para estudiantes de sexto grado a cuarto año.<br><br>Colaborador potencial: UPR. | DRNA y DE | $150,000 | Programa CREOGP de EPA | Corto plazo | **R:** Material educativo de sostenibilidad disponible para ser usado en las clases de ciencias naturales, físicas y sociales.<br><br>**M:** 15 horas de material listo para cada grado. |
| | **3.** Capacitar en temas de sostenibilidad a maestros de ciencias naturales, físicas y sociales de sexto grado a cuarto año. | DRNA y DE | $100,000 | Programa CREOGP de EPA | Corto plazo | **R:** Maestros capacitados para educar para la sostenibilidad.<br><br>**M:** 10 % de los maestros capacitados para enero de 2025; 50 % para agosto de 2025, y 100 % para enero de 2026. |
| | **4.** Crear un canal de *YouTube* con material educativo hecho por comunicadores puertorriqueños disponible para todas las audiencias. | DRNA y WIPR | $25,000 | Programa CREOGP de EPA | Corto plazo | **R:** Video de YouTube creado, accesible para el público en general y dirigido a todas las audiencias.<br><br>**M:** 40 horas de videos disponibles, cada uno con duración menor de 10 minutos. |
| | **5.** Crear una certificación de Profesional de Consumo y Producción Responsable (30 horas).<br><br>Colaborador potencial: UPR. | DRNA | $120,000 | Programa CREOGP de EPA | Corto plazo | **R:** Plataforma educativa de consumo y producción sostenible accesible al público.<br><br>**M:** Material educativo de 30 horas y certificado disponible en línea en la plataforma de educación a distancia de la UPR. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Medir y evaluar las consecuencias del manejo de materiales y residuos sólidos, incluyendo evaluar los GEI generados en el manejo de materiales y residuos. | **1.** Evaluar los programas de manejo de residuos sólidos en cada municipio, incluyendo el costo real, usando el análisis de la economía ecológica.[4] Las herramientas de economía ecológica son las más apropiadas para trabajar con una estrategia de consumo y producción sostenible y responsable. | Municipios, bajo supervisión del DRNA | $200,000 | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories*. https://www.epa.gov/infrastructure/solid-waste-infrastructure-recycling-grants-states-and-territories | Corto plazo | **R:** Informe del estado de situación de los materiales en Puerto Rico.<br>**M:** Los 25 municipios más poblados evaluados para diciembre de 2024; los 78 municipios evaluados para diciembre de 2025. |
| | **2.** Desarrollar e implantar un sistema de inventario de residuos sólidos en todos los municipios. Este sistema debe proveer datos de:<br>**a.** materiales reciclables,<br>**b.** materiales de construcción,<br>**c.** materiales compostables,<br>**d.** materiales no reciclables,<br>**e.** materiales electrónicos,<br>**f.** materiales especiales tales como aceites, baterías y gomas,<br>**g.** componentes de los sistemas de energía renovable tales como las placas solares y las baterías.<br>**3.** Este inventario debe incluir datos tales como tipo de material, volúmenes o pesos y municipios de origen. | DRNA y municipios | $1,500,000 en consultoría / 12 meses | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories* | Corto plazo | **R:** Sistema de inventario de residuos funcional y validado en operación.<br>**M:** Sistema funcional para los 25 municipios más poblados para diciembre de 2024, y para los 78 municipios para diciembre de 2025. |

[4] Para más información sobre economía ecológica: https://insights.som.yale.edu/insights/what-is-ecological-economics#:~:text=The%20three%20interrelated%20goals%20of,human%20well%2Dbeing%20and%20sustainability

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Medir y evaluar las consecuencias del manejo de materiales y residuos sólidos, incluyendo evaluar los GEI generados en el manejo de materiales y residuos. | **4.** Identificar y evaluar los retos de reducir la generación de residuos sólidos en Puerto Rico con la visión de llegar al concepto de manejo sustentable de materiales, el incluso de estimar el volumen de materiales viables que se importan a Puerto Rico. Esta estrategia no se puede lograr solamente manejando los residuos generados por los productos existentes. Mediante el concepto de manejo sustentable de residuos, se requiere repensar la forma de hacer productos para que no se conviertan en basura al terminar su vida útil (véase la sección Mejores prácticas). | DRNA | $150,000 en consultoría / 6 meses | Programa de EPA, *Pollution Prevention Grant: Environmental Justice Through Safer and More Sustainable Products.* https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-grant-environmental-justice-through-safer-and-more-sustainable-products | Corto plazo | **R:** Estudio de retos y oportunidades para reducir los residuos sólidos (a base de trabajos previos realizados en San Francisco, California, y otras jurisdicciones de Estados Unidos).<br>**M:** Estudio completado para los 25 municipios más poblados en diciembre de 2024, y para los 78 municipios en diciembre de 2025. |
| | **5.** Identificar y evaluar los retos de usar materiales reciclables en los productos que se fabrican en Puerto Rico, incluyendo realizar un estudio de mercadeo de los potenciales clientes. Esta estrategia tiene el propósito de entender los tipos y las características de los materiales recuperados a fin de incorporarlos exitosamente en productos nuevos. Esto requiere ingeniería de materiales, empaque y productos.<br>Colaborador potencial: UPR - Mayagüez (Facultad de Ingeniería, Facultad de Administración de Empresas). | DDEC | $1,500,000 en consultoría / 12 meses | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories* | Corto plazo | **R:** Estudio de retos y oportunidades para la creación de una economía de materiales reciclables.<br>**M:** Estudio completado para los 25 municipios más poblados en diciembre de 2024; para los 78 municipios en diciembre de 2025. |
| | **6.** Identificar y evaluar los retos de usar fertilizantes en los procesos de composta. Esto incluye identificar potenciales clientes para el uso del fertilizante en la actividad agrícola.<br>Colaborador potencial: UPR - Mayagüez (Facultad de Ciencias Agrícolas). | DDEC | $150,000 en consultoría / 6 meses | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories* | Corto plazo | **R:** Estudio de retos y oportunidades para la creación de una economía de materiales reciclables.<br>**M:** Estudio completado para los 25 municipios más poblados en diciembre de 2024; para los 78 municipios en diciembre de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Medir y evaluar las consecuencias del manejo de materiales y residuos sólidos, incluyendo evaluar los GEI generados en el manejo de materiales y residuos. | **7.** Identificar y evaluar los retos de producir energía del biogás generado de composta, descomposición en vertederos o rellenos sanitarios, y de lodos de tratamiento de aguas usadas (como alternativas al diésel y la gasolina). Esto incluye el estudio de mercado de usuarios del biogás para producir electricidad para operaciones agrícolas y el uso del biogás para operar equipo agrícola e industrial (camiones, tractores y *finger lifts*, entre otros).<br><br>Colaborador potencial: UPR - Mayagüez (Facultad de Ingeniería, Facultad de Ciencias Agrícolas). | DDEC | $150,000 en consultoría / 6 meses | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories* | Corto plazo | **R:** Estudio de retos y oportunidades para la creación de una economía de materiales reciclables.<br><br>**M:** Estudio completado para los 25 municipios más poblados en diciembre de 2024; para los 78 municipios en diciembre de 2025. |
| | **8.** Desarrollar e implantar un sistema de inventario de materiales útiles:<br>**a.** que manejan las compañías de reciclaje de residuos sólidos;<br>**b.** que manejan las compañías / organizaciones que hacen composta, y<br>**c.** que manejan las compañías que procesan residuos de construcción.<br><br>Este inventario debe incluir cuánto material reciben, cuánto material reciclado útil producen, cuánto material venden, y cuánto es el material que no se puede reciclar o compostar y que termina en un relleno sanitario. | DRNA y DDEC | $50,000 | DRNA y DDEC | Corto plazo | **R:** Sistema de inventario de residuos funcional y validado en operación.<br><br>**M:** Sistema funcional para 50 % de las compañías de reciclaje en Puerto Rico en diciembre de 2024; para 100 % de las compañías en diciembre de 2025. |
| | **9.** Desarrollar y establecer un sistema de métricas de sostenibilidad basado en el Análisis del Ciclo de Vida en el proceso de manejo de materiales. | DRNA | $50,000 | DRNA | Corto plazo (18 meses) | **R:** Sistema de indicadores de manejo sostenible de materiales (*dashboard*), incluyendo indicadores de GEI y energía, en la página del DRNA.<br><br>**M:** Indicadores identificados para agosto de 2024; indicadores integrados con sistema de inventario de residuos listos para publicar en mayo de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.3** Proveer alternativas para los plásticos de un solo uso, plástico de poliestireno (*foam*) en envases de un solo uso y reducción de empaque excesivo. | **1.** Colaborar con el reglamento y las métricas asociadas con la Ley 51-2022 de prohibición de plásticos de un solo uso.<br>**2.** Hacer un inventario de los tipos de materiales usados en los establecimientos de comida rápida y sugerir alternativas.<br>**3.** Hacer un análisis del impacto de material de empaque en la generación de residuos sólidos.<br>**4.** Establecer una política pública que incentive la compra de productos que generen menos residuos sólidos y penalice la compra de los productos que generen más residuos sólidos. | DRNA | $150,000 | Programa de EPA. https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-grant-environmental-justice-through-safer-and-more-sustainable-products<br>Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for States and Territories* | Corto plazo | **R:** Estimado de uso de plásticos de un solo uso y lista de alternativas. Sistema de incentivos y penalidades por generación de residuos sólidos.<br>**M:** Inventario de plásticos de un solo uso para agosto de 2024; sistema de incentivos y penalidades listo para implantar en mayo de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Crear un sistema social / económico / técnico para:<br>**a.** Lograr el reúso de materiales y residuos.<br>**b.** Generar actividad económica y empleos mediante la creación de empresas de manufactura de materiales.<br>**c.** Incrementar la reutilización de materiales y residuos.<br>**d.** Reducir el uso de rellenos sanitarios y llevar los residuos al mínimo con un manejo sustentable de materiales.<br>**e.** Prohibir la incineración como alternativa de manejo de residuos sólidos y la quema de aceite usado para energía. | **1.** Formar el Grupo de Expertos de Manejo Sustentable de Materiales y Residuos Sólidos. | DRNA | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** Grupo rector de las estrategias de manejo sostenible de materiales y residuos sólidos.<br>**M:** Cuerpo formado con organigrama del grupo multisectorial (gobierno, industria, ONG y academia); creación de la junta directiva y del reglamento. |
| | **2.** Nombrar y capacitar a gerentes de manejo sustentable de materiales por municipio (con el sistema creado en la estrategia 5 del objetivo 1.1, que establece: "Crear una certificación en línea de Profesional de Consumo y Producción Responsable (30 horas)". | DRNA | Indeterminable | Programa CREOGP de EPA | Corto plazo | **R:** Firma de acuerdos con todos los municipios con gerentes designados y capacitados.<br>**M:** Acuerdo formalizado para los 25 municipios más poblados para diciembre de 2024, en los 78 municipios para diciembre de 2025. |
| | **3.** Crear regiones o consorcios mediante el establecimiento formal de grupos de municipios para desarrollar esfuerzos colaborativos y en sinergia. | DRNA y DDEC | Indeterminable | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for Communities.* https://www.epa.gov/infrastructure/solid-waste-infrastructure-recycling-grants-political-subdivisions | Corto plazo | **R:** Creación de las regiones y consorcios de municipios, el DRNA y el DDEC.<br>**M:** Regiones y consorcios de municipios creados que cubran a 50 % de la población de Puerto Rico para diciembre de 2024; y a 100 % de la población para diciembre de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Crear un sistema social / económico / técnico para:<br>**a.** Lograr el reúso de materiales y residuos.<br>**b.** Generar actividad económica y empleos mediante la creación de empresas de manufactura de materiales.<br>**c.** Incrementar la reutilización materiales y residuos.<br>**d.** Reducir el uso de rellenos sanitarios y llevar los residuos al mínimo con un manejo sustentable de materiales.<br>**e.** Prohibir la incineración como alternativa de manejo de residuos sólidos y la quema de aceite usado para energía. | **4.** Desarrollar e implantar el plan de manejo sustentable de materiales en cada región para reducir los residuos sólidos con una visión de manejo sostenible de materiales.<br>Colaborador potencial: DDEC. | DRNA | $2,500,000 | Programa de EPA, *Solid Waste Infrastructure for Recycling Grants for Communities*<br>Programa de USDA, Acuerdos cooperativos *Compost and Food Waste Reduction* (CFWR)<br>https://www.nrcs.usda.gov/news/usda-announces-cooperative-agreements-for-compost-and-food-waste-reduction?utm_campaign=031623compostagreement&utm_medium=email&utm_source=govdelivery<br>[...] | Corto y mediano plazo | **R:** Sistema de manejo sustentable de materiales en completa operación con una visión de sostenibilidad y regeneración.<br>**M:** La reducción en 60 % de los materiales depositados en rellenos sanitarios para 2030.<br>• La reducción de los residuos de comida.<br>• La reducción de empaques excesivos.<br>• La reducción de materiales no reciclables.<br>• La reducción del material compostable que llega a los rellenos sanitarios.<br>• La reducción de materiales no renovables.<br>• La reducción del material reciclable que llega a los rellenos sanitarios.<br>• Incremento de reciclaje y reúso de materiales.<br>• Incremento de composta de alimentos y material orgánico.<br>[...] |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Crear un sistema social / económico / técnico para:<br>**a.** Lograr el reúso de materiales y residuos.<br>**b.** Generar actividad económica y empleos mediante la creación de empresas de manufactura de materiales.<br>**c.** Incrementar la reutilización materiales y residuos.<br>**d.** Reducir el uso de rellenos sanitarios y llevar los residuos al mínimo con un manejo sustentable de materiales.<br>**e.** Prohibir la incineración como alternativa de manejo de residuos sólidos y la quema de aceite usado para energía. | **4.** Desarrollar e implantar el plan de manejo sustentable de materiales en cada región para reducir los residuos sólidos con una visión de manejo sostenible de materiales.<br>Colaborador potencial: DDEC. | DRNA | $2,500,000 | [...]<br>Programa de EPA. https://www.highergov.com/assistance/66-808-solid-waste-management-assistance-grants/ | Corto y mediano plazo | [...]<br>• Incremento del uso de materiales renovables.<br>• Reducción de generación de GEI.<br>• Extensión de la vida útil de los sistemas de relleno sanitario.<br>• Empleos creados.<br>• Ingresos generados. |
| | **5.** Crear mediante orden ejecutiva el Instituto de Consumo y Producción Sostenible para implantar estrategias que incorporen exitosamente el material reciclado en productos nuevos y desarrollar protocolos de diseño para asegurar la calidad de los productos que incorporen material reusado.<br>Colaboradores potenciales: UPR (Recinto Universitario de Mayagüez) y la industria local.[5] Deberá buscar sus propios fondos mediante propuestas y proyectos. | Oficina del Gobernador | $100,000 para comenzar. Se buscará hacerlo permanente mediante fondos externos de investigación y desarrollo | DDEC | Corto plazo | **R:** Formación mediante orden ejecutiva del Instituto de Consumo y Producción Sostenible.<br>**M:** Trabajar con 50 % de las compañías locales para el uso de material reciclado para empaque a diciembre de 2024; con 100 % de las compañías locales para diciembre de 2025. |
| | **6.** Desarrollar estrategias para:<br>**a.** Incentivar el uso del material ya compostado con fines agrícolas (lo que reduce el uso de fertilizantes sintéticos).<br>**b.** Incentivar el uso del biogás generado por la composta, los rellenos sanitarios y lodos de aguas usadas para producir energía y la operación de maquinarias.<br>Colaborador potencial: UPR (Recinto Universitario de Mayagüez). | DRNA y DA | $100,000 para comenzar | Programa de USDA - CFWR | Corto plazo | **R:** Aumenta la producción de composta para fertilizantes.<br>**M:** Estrategias a fin de aumentar la producción de composta para fertilizantes en 30 % para agosto de 2025; 60 % para agosto de 2027. |

[5] Véase como ejemplo el Centro de Caracterización de Materiales de la UPR-Río Piedras. http://www.mcc.com.pr

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Crear un sistema social / económico / técnico para:<br>**a.** Lograr el reúso de materiales y residuos.<br>**b.** Generar actividad económica y empleos mediante la creación de empresas de manufactura de materiales.<br>**c.** Incrementar la reutilización materiales y residuos.<br>**d.** Reducir el uso de rellenos sanitarios y llevar los residuos al mínimo con un manejo sustentable de materiales.<br>**e.** Prohibir la incineración como alternativa de manejo de residuos sólidos y la quema de aceite usado para energía. | **7.** Fomentar mediante política pública la creación de compañías locales que:<br>**a.** Puedan hacer empaques de productos con material reciclado y vendérselos a manufactureras con operaciones en Puerto Rico.<br>**b.** Puedan evaluar y rediseñar productos (esto incluye sus empaques) para que puedan incorporar material reciclable y que generen menos residuos sólidos. Se deben priorizar estrategias puntales para industrias reguladas por la Administración Federal de Alimentos y Medicamentos.<br>Colaborador potencial: UPR. | DDEC | $100,000 para comenzar | DDEC | Corto plazo | **R:** Aumenta el uso de material reciclado para empaques.<br>**M:** Aumento del material reciclado para empaques en 25 % para agosto de 2025; en 50 % para agosto de 2026. |
| | **8.** Establecer un centro de manejo de desperdicios electrónicos (*E-Waste*) en cada región de manejo de materiales. Este debe incluir el manejo de equipos electrónicos (computadoras, tabletas), al igual que de equipos de generación de energía solar (placas, baterías).<br>Colaborador potencial: DDEC | DRNA | $200,000 para comenzar | DDEC | Corto y mediano plazo | **R:** Manejo sustentable de materiales electrónicos.<br>**M:** Centro de manejo sustentable de materiales electrónicos en 25 % de las regiones para agosto de 2025; en 50 % de las regiones para agosto de 2026. |
| | **9.** Garantizar la existencia de mercados para el manejo sustentable de neumáticos de carros y aceites usados. | DRNA | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** Manejo sustentable de aceites y gomas.<br>**M:** Validar que el 100 % de las instalaciones que manejan el aceite y neumáticos usados cumplen con la reglamentación existente y atienden la generación existente; 75 % de las instalaciones para agosto de 2025; en el 100 % de las instalaciones para agosto de 2026. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.5** Manejar responsablemente los residuos y materiales generados durante desastres relacionados con eventos de la naturaleza (ej., tormentas, inundaciones, terremotos). | **1.** Crear centros de composta para material vegetativo en cada región. | DRNA | $100,000 para el plan | DRNA | Corto plazo | **R:** Manejo sostenible de materiales compostables.<br>**M:** Centros e industrias de material compostado en 50 % de las regiones para agosto de 2025; en 100 % de las regiones para agosto de 2026. |
| | **2.** Crear una alianza público-privada para la reclamación de materiales de construcción usados. Esta alianza debe crear un sistema para manejar los residuos de construcción (preparar los escombros para ser usados otra vez, identificar usos y quiénes los van a usar). Esta estrategia es de función permanente no solo durante emergencias. | DDEC | $100,000 para el plan | DDEC | Corto plazo | **R:** Manejo sostenible de materiales de construcción.<br>**M:** APP capaz de manejar 30 % de los materiales y residuos de construcción reusables para agosto de 2025; 50 % de los materiales y residuos de construcción reusables para agosto de 2026. |
| **A.1.6** Formular política pública e incentivos económicos para reducir las consecuencias adversas de los residuos sólidos mediante la creación de un sistema de manejo sustentable de materiales. | **1.** Establecer un plan de incentivos económicos para fomentar y apoyar a empresas que se dediquen al reciclaje y a la reutilización de residuos sólidos. | DDEC | Indeterminable | DDEC | Corto plazo | **R:** Programa de incentivos para el manejo sustentable de materiales.<br>**M:** Incentivos para el 25 % de la industria de materiales reciclables para agosto de 2024; incentivos para el 50 % para agosto de 2026. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.6** Formular política pública e incentivos económicos para reducir las consecuencias adversas de los residuos sólidos mediante la creación de un sistema de manejo sustentable de materiales. | **2.** Crear mercados para la compra y venta de materiales reclamados o reciclados. | DDEC | DDEC usa edificios de su propiedad que están sin ocupar. | DDEC | Corto plazo | **R:** Mercados para la compra y venta de materiales reclamados o reciclados.<br>**M:** Centros de venta de materiales en cada región para diciembre de 2025. Acuerdos de distribución de material reusado para empaques con 50 % de las compañías locales para diciembre del 2026. |
| | **3.** Establecer un plan de incentivos económicos a fin de fomentar y apoyar a empresas que se dediquen a la composta para generar fertilizantes para la agricultura y al biogás para la producción de energía (mayormente, para la operación de maquinaria agrícola o microrredes con biogás). | DDEC | Indeterminable | DDEC | Corto plazo | **R:** Programa de incentivos para el manejo de residuos biológicos.<br>**M:** Incentivos para 25 % de las industrias de materiales compostables para agosto de 2024; incentivos para 50 % para agosto de 2026. |
| | **4.** Crear mercados para fertilizantes y biogás de composta. | DDEC | DDEC usa edificios de su propiedad que están sin ocupar. | DDEC | Corto plazo | **R:** Mercados para fertilizantes y biogás de composta.<br>**M:** Centros de venta de materiales en cada región para diciembre de 2024. |
| | **5.** Remplazar los rellenos sanitarios por ecoparques industriales. Estos son parques industriales donde se encuentran distintas empresas dedicadas al reciclaje o reúso de materiales y residuos sólidos para crear productos nuevos.<br>Colaboradores potenciales: UPR y regiones. | DRNA y DDEC | $100,000 para comenzar cada ecoparque. El DRNA tendrá la responsabilidad de identificar fuentes potenciales de fondos. | DDEC | Corto plazo | **R:** Ecoparque en cada región.<br>**M:** Ecoparques en 25 % de las regiones para diciembre del 2024; 50 % de las regiones para diciembre de 2025, y 100 % de las regiones para diciembre de 2026. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.6** Formular política pública e incentivos económicos para reducir las consecuencias adversas de los residuos sólidos mediante la creación de un sistema de manejo sustentable de materiales. | **6.** Establecer mediante orden ejecutiva un Consejo Asesor del Gobernador para evaluar y ofrecer recomendaciones sobre el progreso de la implantación de la política pública a base de datos y evidencia. | DRNA, ASG y DDEC | Indeterminable | DDEC | Corto plazo | **R:** Consejo Asesor del Gobernador en Sustentabilidad.<br>**M:** Grupo que trabaja con el gobierno para diciembre de 2024. |
| | **7.** Implantar política pública que obligue a las compañías de telefonía celular a recuperar los equipos usados vendidos por ellas. | DRNA, Negociado de Telecomuni-caciones y DACO | Indeterminado | DRNA, Negociado de Telecomuni-caciones | Corto plazo (18 meses) | **R:** Ley de responsabilidad extendida del productor (puede ser también generador).<br>**M:** Reglamento de manejo de dispositivos de telecomunicaciones para diciembre de 2025. |
| | **8.** Prohibir la incineración como alternativa de manejo de residuos sólidos para finales de 2024. | DRNA | Indeterminable | No aplica | Corto plazo | **R:** Prohibir la incineración de residuos sólidos.<br>**M:** Ley para el control de incineración; prohibición de quema de residuos sólidos y controles a la incineración de residuos biomédicos para agosto de 2025. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.6** Formular política pública e incentivos económicos para reducir las consecuencias adversas de los residuos sólidos mediante la creación de un sistema de manejo sustentable de materiales. | **9.** Implantar una Ley de Depósito sobre Botella.[6] (Estas políticas dependen en parte de un inventario actualizado de residuos.)<br><br>Colaborador potencial: UPR. | DRNA y DACO | El DRNA manejará los fondos administrativos provenientes del depósito | DRNA y DACO | Corto y mediano plazo | **R:** Ley de manejo del depósito sobre botella (*Bottle Bill*) para agosto de 2025.<br><br>**M:** Incrementar en 80 % los materiales que estén bajo la legislación propuesta para diciembre de 2027. |
| | **10.** Crear la Ley de responsabilidad extendida del productor.[7] (Estas políticas dependen en parte de un inventario actualizado de residuos.)<br><br>**a.** Identificar qué productos se prestan para aplicar la recuperación del producto (*takeback*):<br>• Electrodomésticos (neveras, lavadoras, secadoras, microondas, estufas).<br><br>**b.** Incluir programas existentes de manejo de aceites usados y de neumáticos usados.<br><br>**c.** Incluir equipos de producción de energía renovable.<br><br>**d.** Establecer el mecanismo de propiedad extendida del producto (*extended product ownership*) mediante el proyecto de ley.<br><br>**e.** Incluir incentivos y penalidades por el tiempo de duración del producto y la facilidad de reparación. | DRNA, DDEC y DACO | Indeterminable | No aplica | Corto plazo | **R:** Ley de responsabilidad extendida del productor.<br><br>**M:** Reglamento de devolución del producto para enero de 2026. Reglamento de manejo sostenible de equipos de energía renovable o alternativa para enero de 2026. |

[6] Véase más información en https://www.bottlebill.org/index.php/about-bottle-bills/what-is-a-bottle-bill
[7] Véase más en https://www.uschamberfoundation.org/disasters/circular-economy-toolkit-small-businesses

**B. Propiciar la implementación de un Plan de Manejo Sustentable de Materiales para alcanzar la meta de reducir la cantidad de desperdicios sólidos depositados en los vertederos de Puerto Rico. El mismo deberá contemplar los desperdicios y escombros generados en el proceso de recuperación de los huracanes como Irma y María, y establecer una jerarquía con respecto a las opciones relacionadas a los desperdicios que incluya: la prevención, la preparación para la reutilización, el reciclaje y la eliminación de ciertos desperdicios. Dicho plan incluirá una prohibición absoluta de productos derivados de plásticos y poliestireno de un solo uso en un término de tres (3) años. El Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático determinará con especificidad los productos que quedarán prohibidos tomando en consideración la viabilidad y disponibilidad en el mercado de sustitutos a dichos productos.**

**COA B.1: Cumplimiento ambiental en el manejo y disposición final de los residuos sólidos.**

**Mejores prácticas:**

Los sistemas existentes para el manejo y la disposición de residuos sólidos deben de cumplir con la reglamentación estatal y federal a fin de garantizar que no afectarán a los ciudadanos ni al medioambiente.

- https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-regulations#nonhaz
- http://app.estado.gobierno.pr/ReglamentosOnline/Reglamentos/9306.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Cierre de los vertederos que no cumplen con la reglamentación federal y estatal de diseño y operación. | **1.** Hacer cumplir la reglamentación existente (Reglamento para los sistemas de relleno sanitario, número 9306, del 7 de septiembre de 2021). | DRNA y municipios | $600 millones | Municipios y fondos federales | Corto y mediano plazo | **R:** Cese de operaciones de las instalaciones que no cumplan con la reglamentación existente.<br>**M:** Número de instalaciones que cierren en el término establecido: 40 % a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Propiciar que las instalaciones (existentes y nuevas) de segregación de materiales y los mercados para los materiales existentes y futuros cumplan con los permisos requeridos. | **1.** Hacer que las instalaciones de segregación de residuos sólidos cumplan con los permisos requeridos y que las instalaciones por construir se cumplan con el Plan a ser desarrollado por el DRNA. | DRNA | $1,000,000 anual | Ingresos propios de la entidad responsable y fondos federales (EPA) | Corto plazo (continuo) | **R:** Lograr que todas las instalaciones de reciclaje cumplan con los permisos requeridos y con los estándares de seguridad.<br>**M:** Número de instalaciones en cumplimiento. |
| **B.1.3** Establecimiento de **estaciones de trasbordo (ET)** para atender los efectos adversos del cierre de las instalaciones de disposición bajo tierra de los residuos sólidos (*landfill*) que no cumplen con las reglamentaciones federales. | **1.** Evaluar las ET existentes y determinar el potencial de mejorarlas y el establecimiento de nuevas en lugares con acceso adecuado y que no perjudiquen el medioambiente ni las comunidades. | DRNA | $100 millones | Fondos federales | Corto plazo (continuo) | **R:** Lograr que se construyan las ET necesarias que garanticen economías de escala a los municipios que las utilicen.<br>**M:** Instalaciones construidas según las determinadas en el plan a ser elaborado por el DRNA. |
| **B.1.4** Establecimiento de instalaciones de manejo de orgánicos mediante composta o tecnologías que sean compatibles con el manejo sustentable de materiales. | **1.** Evaluar las instalaciones existentes y determinar el potencial de mejorarlas y de establecer nuevas en lugares con acceso adecuado y que no impacten el medioambiente ni las comunidades. | DRNA | $150 millones | Fondos federales y estatales | Corto plazo (continuo) | **R:** Lograr que se construyan las instalaciones necesarias que garanticen economías de escala a los municipios que las utilicen.<br>**M:** Instalaciones construidas según las determinadas en el plan a ser elaborado por el DRNA. |

## C. Promover e incentivar con prioridad alternativas a la combustión de desperdicios sólidos que no puedan ser reutilizados o reciclados y el reciclaje o re-refinamiento de desperdicios especiales, según estos son definidos por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, con el fin de evitar las emisiones de gases de efecto invernadero que se produce en la combustión de estos.

### COA C.1 Establecer estrategias de prevención de contaminación que promuevan la utilización de productos alternos no contaminantes.

**Mejores prácticas:**

- *Pollution Prevention Case Studies.* https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-potws-case-studies
- Ley para la Prevención de la Contaminación (Ley 310 del 2000). https://www.lexjuris.com/lexlex/leyes2000/lex2000310.htm

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Promover la utilización de productos que no requieran ser tratados mediante combustión. | **1.** Requerir a las industrias someter un plan de reducción de contaminación que promueva el uso de productos no tóxicos y reusables. | DRNA y DDEC | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables y fondos de la EPA https://www.epa.gov/p2/grant-programs-pollution-prevention | Mediano plazo | **R:** Lograr una reducción en 80 % respecto a la dependencia de desechos industriales que necesitan ser manejados por combustión.<br>**M:** Medir estadísticamente cada año los productos tratados por combustión y medir su reducción. |

## D. Promover mejores prácticas de manejo de desperdicios sólidos (ej. proximidad a fuentes de abastecimientos de agua potable, contenedores resistentes a la corrosión para prevenir la obstrucción por desperdicios sólidos).

### COA D.1: Prevenir la contaminación por manejo y disposición inadecuada de los residuos sólidos.

**Mejores prácticas:**

- *Kissimmee, FL 14-6-42 - Recycling collection centers and containers*. https://library.municode.com/fl/kissimmee/codes/code_of_ordinances?nodeId=PTIIILADECO_CH14-6STACTEOTUS_PTIIISTSPUS_14-6-42RECOCECO
- *CalRecycle, Collection Systems, Standardized Container Colors, and Labeling*. https://calrecycle.ca.gov/organics/slcp/collection/systems/
- *Lee County, FL, Solid Waste Enclosures Best Design Practices*. https://www.leegov.com/solidwaste/Documents/Miscellaneous%20Documents/LCSW_Dumpster_Enclosures_Design_Practices_booklet%20for%20web.pdf
- *EPA Trash Capture Projects*. https://www.epa.gov/trash-free-waters/trash-capture-projects

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Adoptar las mejores prácticas de manejo de residuos que minimicen la contaminación de los recursos naturales. | **1.** Establecer guías para la ubicación de recipientes duraderos en lugares que garanticen prevenir la contaminación y proliferación de vectores. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Preparar las guías para el manejo y almacenaje transitorio de los residuos sólidos y los materiales reciclables.<br>**M:** Tener las guías completadas en seis meses. |
| | **2.** Establecer estrategias de captura de residuos para reducir el impacto en nuestros cuerpos de agua. | DRNA y AAA | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables y fondos federales | Corto plazo | **R:** Preparar las guías para el manejo y almacenaje transitorio de los residuos sólidos y los materiales reciclables.<br>**M:** Tener las guías completadas en seis meses. |
| | **3.** Implantar las estrategias de captura de residuos para reducir el impacto en nuestros cuerpos de agua. | DRNA, AAA y municipios | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables y fondos federales | Mediano plazo | **R:** Reducir la cantidad de residuos que terminan en nuestros estuarios y costas.<br>**M:** Medir la cantidad de residuos en los estuarios, las costas y en las áreas de captura de manera periódica. Esto se comparará anualmente. |

## E. En conjunto con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, promover la educación comunitaria para reducir la generación de residuos a través de la reducción del consumo, el reúso con remanufactura en general y la separación en la fuente.

### COA E.1: Educación comprensiva multisectorial sobre el manejo sostenible de los residuos sólidos.

**Mejores prácticas:**

Las jurisdicciones con programas de desvío de residuos sólidos exitosos requieren campañas educativas a todos los sectores:

- *CalRecycle Local Jurisdiction Waste Diversion and Recycling Outreach Materials.* https://calrecycle.ca.gov/lgcentral/library/outreach/
- *Department of Environmental Conservation Recycle Right NY Campaign.* https://www.dec.ny.gov/chemical/116113.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Promover el manejo sostenible de los residuos sólidos en las escuelas de Puerto Rico para los niveles k-12. | **1.** Actualizar la Guía de Actividades del Currículo del Departamento de Educación. | DE y DRNA | $200,000 | Fondos federales y fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo (continuo) | **R:** Finalizar la actualización de la Guía de Actividades para todos los niveles.<br>**M:** Lograr 100 % de capacitación de los maestros que implantarán las guías. |
| **E.1.2** Desarrollar una campaña masiva respecto al manejo adecuado de los residuos sólidos en Puerto Rico. | **1.** Utilizar las redes sociales, prensa (escrita, televisiva, radial) y cualquier otro medio disponible para orientar a la ciudadanía sobre la importancia de la reducción de residuos y el reciclaje. | DRNA, WIPR y PRITS | $ 500,000 | Fondos federales y fondos propios de las entidades responsables y espacios de servicio público | Corto plazo (continuo) | **R:** Lograr cobertura en todos los medios disponibles.<br>**M:** Cantidad de medios que cubren del total de medios disponibles (horas en el aire). |
| **E.1.3** Promover la participación ciudadana en la educación a las comunidades. | **1.** Fomentar la participación ciudadana en la educación a las comunidades sobre el manejo sostenible de residuos, mediante la integración de organizaciones comunitarias y sin fines de lucro. | DRNA y la ODSEC | $ 500,000 | Fondos federales y fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo (continuo) | **R:** Lograr la integración de las comunidades y organizaciones comunitarias.<br>**M:** Cantidad de comunidades y organizaciones integradas del total existente. |

## F. Prohibir progresivamente la quema de aceite usado eliminando esta práctica a un cien por ciento (100 %) para el año 2021.

**COA F.1: Dar seguimiento a que se cumpla la Ley 33-2019, artículo 9, inciso d (6), para asegurar el cese de la quema del aceite usado.**

**Mejores prácticas:**

- *Prohibits Use of Grade 6 Heating Oil Fuel in Buildings and Facilities in New York State*. https://www.governor.ny.gov/news/governor-hochul-signs-package-bills-prohibiting-use-grade-6-fuel-oil-and-use-pavement-products
- *Regulation of Hazardous Waste and Used Oil Burned for Energy Recovery in Boilers and Industrial Furnaces Final Rule*. https://www.epa.gov/hwpermitting/federal-register-notice-regulation-hazardous-waste-and-used-oil-burned-energy-recovery

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Reducir la contaminación y generación de GEI. | **1.** Establecer mediante orden administrativa la prohibición de la quema de aceite usado para la preparación de productos secundarios mediante la aplicación de calor o para generación de energía. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Cesar la quema de aceite usado.<br>**M:** Inspeccionar las instalaciones que quemaban aceite usado y validar que no continúan con la práctica. |

**Tabla 7.5.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **salud y bienestar**.

**A. Encaminar medidas que identifiquen y evalúen los efectos del cambio climático sobre la salud de las personas con el fin de adoptar y aplicar medidas de prevención en torno a estos efectos, incluyendo, las medidas relativas a las enfermedades transmitidas por vectores, a la calidad del agua y del aire y a la protección frente a las olas de calor, así como de [*sic*] medidas en el ámbito alimentario, ante cualquier efecto del cambio climático que pueda afectar a la inocuidad de los alimentos.**

**COA A.1: Crear una oficina especializada en cambio climático adscrita al Departamento de Salud en conjunto con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, que contribuya a la coordinación del trabajo interagencial e intragencial relacionado con el cumplimiento del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático y que incluya la protección de las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas más vulnerables.[1]**

**Mejores prácticas:**
Algunos ejemplos de oficinas especializadas en cambio climático y salud:
- En la esfera federal. https://www.hhs.gov/ash/ocche/index.html
- A nivel estatal. https://www.cdph.ca.gov/Programs/OHE/pages/CCHEP.aspx

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[2] | Costo estimado[3] | Fuente potencial de financiamiento[4] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Crear una oficina especializada en cambio climático, salud y bienestar, adscrita al **Departamento de Salud (DS)**, que contribuya a la coordinación del trabajo interagencial relacionado con la identificación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre la salud pública y el bienestar. | **1.** Enmendar a corto plazo la Orden Administrativa 569 del DS para establecer una oficina especializada en cambio climático, salud pública y bienestar, bajo la Secretaría Auxiliar de Epidemiología y Protección de la Salud Pública. | DS; la oficina estaría bajo la nueva estructura del DS | Nominal | Gobierno central y la **Ley federal de Reducción de la Inflación (IRA)**. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf | Corto plazo | **R:** Se crea la oficina.<br>**M:** Enmienda de la orden administrativa. |

[1] Mediante la creación de una oficina especializada en cambio climático, salud pública y bienestar adscrita al Departamento de Salud, en este primer curso de acción se consolidan los otros objetivos incluidos en el artículo 9 de la Ley 33 de 2019.

[2] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[3] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[4] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Crear una oficina especializada en cambio climático, salud y bienestar, adscrita al Departamento de Salud (DS), que contribuya a la coordinación del trabajo interagencial relacionado con la identificación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre la salud pública y el bienestar. | **2.** Promulgar una ley que establezca una oficina especializada en cambio climático, salud pública y bienestar. | Asamblea Legislativa | Nominal | Fondos operacionales de la legislatura | Corto y mediano plazo | **R:** Aprobación de la ley que crea la oficina especializada en cambio climático, salud pública y bienestar para 2025.<br>**M:** Radicación del proyecto de ley en seis meses. |
| | **3.** Apoyar esfuerzos, estrategias e iniciativas interagenciales relacionadas con los efectos del cambio climático en la salud pública y el bienestar. | Oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | Nominal | Fondos asignados a la Secretaría Auxiliar de Vigilancia, Epidemiología y Protección a la Salud Pública (Orden Administrativa del DS-569-2023) | Corto y mediano plazo | **R:** Al menos una estrategia con cada agencia concernida en relación con los efectos del cambio climático en la salud pública y el bienestar.<br>**M:** Identificación de los efectos del cambio climático en la salud pública y el bienestar que ameriten la atención de cada agencia. |
| | **4.** Establecer mecanismos de participación comunitaria y de sectores no gubernamentales en los planes de adaptación al cambio climático que se desarrollen dentro del DS. | DS | Indeterminable | Fondos IRA | Corto plazo | **R:** Participación de por lo menos un líder de cada región en el desarrollo de los planes de adaptación al cambio climático del DS.<br>**M:** Desarrollo de un plan de reclutamiento para promover la participación ciudadana en el desarrollo de planes relacionados con el cambio climático en el DS. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Crear una oficina especializada en cambio climático, salud y bienestar, adscrita al Departamento de Salud (DS), que contribuya a la coordinación del trabajo interagencial relacionado con la identificación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre la salud pública y el bienestar. | **5.** Designar una persona dentro de cada unidad u oficina del DS que sirva de enlace con la oficina especializada en cambio climático. | DS | Incluido en los costos operacionales del presupuesto asignado a la oficina | Presupuesto operacional de la oficina | Corto plazo | **R:** 100 % de las oficinas con persona enlace designada.<br>**M:** Número de unidades y oficinas con persona enlace designada. |
| | **6.** Celebrar reuniones frecuentes de evaluación de los planes, retos y oportunidades para la implantación del P-MARCC. | DS | Incluido en los costos operacionales del presupuesto asignado a la oficina | Presupuesto operacional de la oficina | Corto plazo | **R:** Al menos una reunión semestral.<br>**M:** Número de reuniones de evaluación del P-MARCC que incluyan múltiples y diversos actores (agencias concernidas con la implantación de estrategias de salud y cambio climático, representantes comunitarios y organizaciones no gubernamentales). |
| | **7.** Asignar fondos para el trabajo de la oficina. | DS | $1,500,000 | Gobierno central y fondos de IRA | Corto plazo | **R:** Presupuesto asignado.<br>**M:** Inclusión de la asignación solicitada para la oficina en la solicitud presupuestaria del DS. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Crear una oficina especializada en cambio climático, salud y bienestar, adscrita al Departamento de Salud (DS), que contribuya a la coordinación del trabajo interagencial relacionado con la identificación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre la salud pública y el bienestar. | **8.** Crear un inventario de actores que trabajan con poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en todo Puerto Rico (organizaciones de base comunitaria, organizaciones de base de fe, empresas privadas, academia y otros). | DS | Costos operacionales del presupuesto asignado a la oficina | Presupuesto operacional de la oficina | Corto plazo | **R:** 100 % de las organizaciones inventariadas.<br>**M:** Número de organizaciones inventariadas. |
| | **9.** Elaborar planes especiales de protección para los grupos poblacionales más desatendidos, desfavorecidos y desventajados por regiones de salud.<br>**a.** Asegurar que se atienden todos los eventos asociados al cambio climático y su efecto en la salud pública, tales como episodios de calor extremo, sequías, aumentos en el nivel del mar, tormentas e inundaciones, además de eventos que afectan la calidad del aire y del agua, así como la inocuidad de los alimentos. | DS | Indeterminable | Fondos IRA | Mediano plazo | **R:** Programas para grupos desatendidos, desfavorecidos y desventajados establecidos.<br>**M:** Programas creados.<br><br>**R:** 100 % de los estresores incluidos.<br>**M:** Número de estresores incluidos en los programas. |

**COA A.2: Establecer un plan de concienciación a la ciudadanía sobre los riesgos para la salud que suponen los eventos derivados del cambio climático. El plan estará a cargo de la oficina de cambio climático, salud pública y bienestar.[5]**

**Mejores prácticas:**
Algunos ejemplos son:

- Informar a pacientes sobre los efectos del calor extremo en los medicamentos. https://www.gov.mb.ca/health/publichealth/factsheets/heat_medications.pdf
- Apoyar a las organizaciones comunitarias que educan y abogan por agua limpia. https://waterkeeper.org/waterkeepers/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Educar y capacitar sobre los efectos del cambio climático en la salud pública, el bienestar y la inseguridad alimentaria. | **1.** Capacitar al personal de salud y de salas de emergencias para que pueda identificar condiciones de salud que se asocian con eventos de calor extremo u olas de calor, con el objetivo de que contribuya al sistema de vigilancia en salud pública. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $250,000 - $300,000 (al año) | Fondos de los **Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC)** y fondos IRA | Corto plazo | **R:** 100 % del personal de salud en los diversos centros de servicios (hospitales, centros de salud primaria, centros para personas de edad avanzada) capacitado para identificar condiciones de salud asociadas a los efectos del cambio climático, para contribuir al sistema de vigilancia en salud pública.<br>**M:** Número de centros de servicios de salud y cuidado con personal capacitado. |
| | **2.** Capacitar a personal de agencias gubernamentales como el DS, el DRNA, el Departamento del Trabajo y Recursos Humanos, el Departamento de Agricultura, el Departamento de la Familia y el Departamento de la Vivienda. | | | | | **A) R:** 100 % de las agencias mencionadas incluidas.<br>**M:** Número de agencias gubernamentales incluidas en estrategias de educación.<br>**B) R:** 100 % de los empleados participantes.<br>**M:** Número de empleados participantes de cada agencia. |

[5] Este es un tema transversal que incide en el sector de educación (sección 7.11). Aunque el objetivo y las estrategias se asemejan a otros incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Educar y capacitar sobre los efectos del cambio climático en la salud pública, el bienestar y la inseguridad alimentaria. | **3.** Establecer alianzas con el DE y el Consejo de Educación Superior para crear cursos y campañas de concienciación sobre el cambio climático, la salud pública y el bienestar. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $250,000 - $300,000 (al año) | Fondos de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) y fondos IRA | Corto plazo | **R:** Al menos un curso requisito para cada nivel escolar.<br>**R:** Al menos un curso requisito a nivel universitario.<br>**M:** Número de cursos aprobados y campañas de educación sobre el cambio climático y la salud pública organizadas por el Departamento de Educación y el Consejo de Educación de Puerto Rico. |
| | **4.** Educación continua a profesionales de la salud en general. | | | | | **R:** Participación del 100 % de los profesionales de la salud en los talleres.<br>**M:** Número de profesionales de la salud que participan en actividades de educación continua (médicos, personal de salud, organizaciones profesionales, Departamento del Trabajo y Recursos Humanos). |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Educar y capacitar sobre los efectos del cambio climático en la salud pública, el bienestar y la inseguridad alimentaria | **5.** Desarrollar módulos educativos en línea, cápsulas de video, afiches y boletines informativos. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $250,000 - $300,000 (al año) | Fondos de los CDC y fondos IRA | Corto plazo | **R:** Al menos un módulo, una cápsula de video, un afiche y un boletín creado o revisado al año.<br>**M:** Número de módulos en línea y material informativo (cápsulas de video, afiches y boletines). |
| | **6.** Coordinar talleres frecuentes y seminarios —al menos dos por año—, para actualizar la información relevante sobre el cambio climático y sus efectos en la salud. | | | | | **R:** Al menos dos talleres por año.<br>**M:** Número de talleres celebrados para actualizar información relevante sobre el cambio climático y sus efectos en la salud. |

**COA A.3: Monitorear, medir y evaluar indicadores asociados a variables ambientales relacionadas con el cambio climático que tienen efectos sobre la salud pública y el bienestar, incluyendo enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades relacionadas con la calidad del agua, calidad del aire y exposición a alergenos, así como condiciones de salud asociadas con los eventos de calor extremo y enfermedades relacionadas con la inocuidad de los alimentos.**

**Mejores prácticas:**

Algunos ejemplos son:

- Consultar páginas que proveen información de salud para reducir los efectos del calor extremo en la salud, en la infraestructura y en el ámbito económico, como: https://www.heat.gov/
- Vigilancia de asma y contribuyentes ambientales al asma utilizando herramientas disponibles en los CDC. https://www.cdc.gov/nceh/tracking/topics/AirQuality.htm
- Recursos disponibles en la Agencia de Protección Ambiental para el monitoreo de la calidad de aire. https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/interactive-map-air-quality-monitors
- Véanse iniciativas de *Salt Lake City Unmask My City* para apoyar medidas de control. http://unmaskmycity.org/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar un sistema de vigilancia y monitoreo del efecto de los eventos climáticos extremos en la salud pública considerando los siguientes estresores: calor extremo, huracanes, polvo del Sahara, sequías e inundaciones. | **1.** El sistema de vigilancia deberá utilizar, como mínimo, los siguientes indicadores:<br>**a.** Exceso de mortalidad por todas las causas. | Registro Demográfico y DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $200,000 | CDC y fondos IRA para los territorios | Corto y mediano plazo | **R:** Sistema de vigilancia establecido.<br>**M:** Sistema de vigilancia implantado o no.<br>**R:** 100 % de los indicadores incluidos en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Número de indicadores incluidos en el sistema de vigilancia. |
| | **b.** Exceso diario estimado de mortalidad por todas las causas, por grupo de edad y región (1-64) (mayores de 65). | | | | | **R:** 100 % del exceso diario estimado de mortalidad por todas las causas, por grupos de edad y por región, incluido en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Número de causas por grupos de edad y por región incluido. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar un sistema de vigilancia y monitoreo del efecto de los eventos climáticos extremos en la salud pública considerando los siguientes estresores: calor extremo, huracanes, polvo del Sahara, sequías e inundaciones. | **c.** Mortalidad por todas las causas y por edades. | Registro Demográfico y DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $200,000 | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** 100 % de la mortalidad de las causas y edades incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Número de causas por grupos de edad por región incluido. |
| | **d.** Número de muertes por temporadas del año. | | | | | **R:** 100 % de las temporadas incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Número de temporadas incluido. |
| | **e.** Tasa anual de muertes clasificadas por profesionales médicos según el registro del certificado de defunción. | | | | | **R:** Tasa anual de muertes clasificadas por profesionales médicos según el registro de certificado de defunción incluida o no.<br>**R:** 100 % de las muertes por temporadas incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Tasa anual incluida o no. |
| | **2.** Incluir en el sistema de vigilancia sindrómico que tiene el DS las tasas de hospitalización por enfermedades “relacionadas con el calor”. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $210,000 - $250,000 | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Tasas de hospitalizaciones relacionadas con el calor incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Tasas incluidas o no. |
| | **3.** Incluir en el sistema de vigilancia sindrómico que tiene el DS las tasas de hospitalización por enfermedades “relacionadas con huracanes”. | | $210,000 - $250,000 | | | **R:** Tasas de hospitalizaciones relacionadas con huracanes incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Tasas incluidas o no. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar un sistema de vigilancia y monitoreo del efecto de los eventos climáticos extremos en la salud pública considerando los siguientes estresores: calor extremo, huracanes, polvo del Sahara, sequías e inundaciones. | **4.** Incluir en el sistema de vigilancia sindrómico que tiene el DS las tasas de hospitalización por enfermedades “relacionadas con enfermedades vectoriales”. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $210,000 - $250,000 | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Tasas de hospitalizaciones relacionadas con enfermedades vectoriales incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Tasas incluidas o no. |
| | **5.** Incluir en el sistema de vigilancia sindrómico que tiene el DS las tasas de hospitalización por enfermedades “relacionadas con las inundaciones”. | | $210,000 - $250,000 | | | **R:** Tasas de hospitalizaciones relacionadas con inundaciones incluidas en el sistema de vigilancia.<br>**M:** Tasas incluidas o no. |
| | **6.** Visitas a salas de emergencias por estrés por calor. | | $210,000 - $250,000 | | | **R:** 100 % de las salas de emergencia contabilizan las visitas a salas de emergencias por estrés por calor.<br>**M:** Porcentaje de salas de emergencias que contabilizan las visitas por estrés por calor. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar un sistema de vigilancia y monitoreo del efecto de los eventos climáticos extremos en la salud pública considerando los siguientes estresores: calor extremo, huracanes, polvo del Sahara, sequías e inundaciones. | **7.** Consultas de urgencia por médicos generales por golpes de calor, deshidratación o síntomas relacionados con la contaminación de cuerpos de agua, por edad y en el conjunto de todas las edades, como primera o segunda causa de diagnóstico. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $210,000 - $250,000 | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** 100 % de los médicos generales contabilizan las consultas de urgencia, por golpe de calor o deshidratación, por edad y en el conjunto de todas las edades, como primera o segunda causa de diagnóstico.<br>**M:** Número de médicos que contabilizan consultas.<br>**M:** Número de consultas de urgencia por golpe de calor.<br>**M:** Número de consultas de urgencia por deshidratación.<br>**M:** Rangos de edades incluidos en las consultas o no.<br>**M:** Número de consultas por edades.<br>**M:** Número de consultas con primera o segunda causa de diagnóstico identificadas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.2** Fomentar investigaciones que generen conocimiento sobre temas de cambio climático y su efecto en la salud pública y el bienestar. | **1.** Establecer programas de investigación e incorporar cursos requisito sobre el cambio climático considerando los principios y valores de **justicia, equidad, diversidad e inclusión (JEDI)**. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $250,000-$300,000 (anual) | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Programas establecidos.<br>**M:** Número de programas establecidos considerando los valores de JEDI. |
| | **2.** Realizar investigaciones sobre los efectos en la salud de los desplazamientos, tanto temporales como permanentes, y sus implicaciones para los recursos de salud que pueden estar agrupados en ciertas regiones. | | $250,000-$300,000 (anual) | | | **R:** Al menos una investigación en curso.<br>**M:** Número de investigaciones. |
| | **3.** Fomentar investigación sobre el cambio climático y sus efectos en enfermedades crónicas siguiendo el ejemplo de las investigaciones relacionadas con el cáncer. | | $250,000-$300,000 (anual) | | | **R:** Al menos una investigación en curso por el DS.<br>**M:** Número de investigaciones. |
| | **4.** Desarrollar investigación sobre la percepción acerca de las amenazas a la salud asociadas con el cambio climático. | | $250,000-$300,000 (anual) | | | **R:** Al menos una investigación en curso por el DS.<br>**M:** Número de investigaciones. |
| **A.3.3** Divulgar los hallazgos de las investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la salud pública y el bienestar. | **1.** Publicar informes periódicos sobre los hallazgos de investigaciones en torno a los efectos del cambio climático en la salud pública y el bienestar. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $250,000-$300,000 (anual) | CDC y fondos IRA | Mediano plazo | **R:** Publicar al menos un informe anual.<br>**M:** Número de informes publicados. |
| | **2.** Divulgar los hallazgos tanto en línea como en las comunidades y los centros de atención médica, incluidos los proveedores de salud. | | $250,000-$300,000 (anual) | | Mediano plazo | **R:** Al menos una divulgación electrónica semestral.<br>**M:** Número de divulgaciones. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.4** Desarrollar políticas públicas que promuevan las estrategias de adaptación y resiliencia ante el cambio climático con un enfoque salubrista. | **1.** Incluir en el Informe sobre el Estado de la Salud en Puerto Rico que prepara el DS una sección sobre cambio climático y sus efectos en la salud. En su revisión más reciente incluye varias dimensiones de salud pública y, en particular, aspectos de comunidad y ambiente, de contaminación, así como de calidad del aire, del agua y de la producción agrícola. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | Presupuesto de DS | CDC y fondos IRA | Mediano plazo | **R:** Inclusión anual de la sección sobre cambio climático, salud pública y bienestar.<br>**M:** Incluida o no una sección sobre cambio climático en el informe anual que prepara el DS. |
| | **2.** Colaborar con agencias, escuelas e instituciones locales (ej., hospitales) para apoyar la adopción de políticas de adaptación al cambio climático y la adquisición de alimentos saludables. | | $100,000 - 200,000 | | Corto y mediano plazo | **R:** Al menos una colaboración anual con tres escuelas de cada región de salud.<br>**M:** Número de colaboraciones. |
| **A.3.5** Establecer medidas de preparación ante las amenazas del cambio climático. | **1.** Utilizar los datos y las herramientas disponibles para identificar a las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas, vulnerables al calor, las inundaciones y las enfermedades transmitidas por vectores en regiones geográficas y municipios. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar y Asamblea Legislativa | $220,000 - $250,000 | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables identificadas.<br>**M:** 100 % de los municipios y regiones con las poblaciones identificados. |
| | **2.** Evaluar el uso de escuelas y centros comunales en los municipios y prepararlos como centros de enfriamiento, oasis y refugios ante inundaciones y tormentas tropicales. | | $250,000- $300,000 | | | **R:** 100 % de las escuelas y centros comunales aptos como refugios identificados en cada municipio.<br>**M:** Número de escuelas y centros comunales evaluados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.5** Establecer medidas de preparación ante las amenazas del cambio climático. | **3.** Comunicar efectivamente la localización de los centros de refugio para cada uno de los estresores relacionados con el cambio climático. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar y Asamblea Legislativa | $100,000 - $200,000 (dependiendo de la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** 100 % de las escuelas y centros comunales evaluados.<br>**M:** 100 % de los refugios identificados y su ubicación difundida tanto en medios digitales e impresos como en medios radiales y televisivos.<br>**M:** Número de comunicaciones, anuncios y hojas publicadas. |
| **A.3.6** Identificación de instalaciones de servicios de salud que puedan requerir algún tipo de adaptación debido a las diversas amenazas del cambio climático en Puerto Rico | **1.** En la infraestructura del DS, identificar las instalaciones que se encuentran en áreas más propensas a inundaciones, a marejadas ciclónicas y a deslizamientos. | DS | $200,000 | CDC y fondos IRA | Corto plazo | **R:** Instalaciones identificadas en un año.<br>**M:** Evaluación de 50 % de las instalaciones en seis meses. |

**COA A.4: Establecer medidas para proteger a la población desatendida, desfavorecida y desventajada de las temperaturas extremas y olas de calor.**[6]

**Mejores prácticas:**

- Consultar páginas que proveen información de salud para reducir los efectos del calor extremo en la salud, en la infraestructura y en el ámbito económico, como: https://www.heat.gov/
- Informar a pacientes sobre los efectos del calor extremo en los medicamentos: https://www.gov.mb.ca/health/publichealth/factsheets/heat_medications.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Proteger la vida y salud de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas cuando ocurren temperaturas extremas y olas de calor. | **1.** Establecer centros de enfriamiento en cada municipio. | Municipios | $ 4,000 por día (costo de electricidad) | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Establecer en un año al menos un centro de enfriamiento en cada municipio.<br>**M:** Seleccionar el lugar donde establecer el centro de enfriamiento. |
| | **2.** Aclimatar las viviendas de las personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. | Departamento de la Vivienda | $7,000 por residencia (promedio) | | Corto y mediano plazo | **R:** Aclimatar todas las residencias de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en tres años.<br>**M:** Aclimatar 60,000 residencias de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en un año. |

[6] Este es un tema transversal que incide en el sector de justicia climática (sección 7.12). Aunque el objetivo y las estrategias se asemejan a otros incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Proteger la vida y salud de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas cuando ocurren temperaturas extremas y olas de calor. | **3.** Establecer incentivos y subsidios gubernamentales para instalar acondicionadores de aire en residencias de comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. Se puede imitar el incentivo de energía renovable para la instalación de placas solares. | Departamento de Hacienda | Indeterminable | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** 100 % de los subsidios otorgados a las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas.<br>**M:** Se establece al menos un incentivo y un subsidio para instalar acondicionadores de aire en residencias de comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas identificadas.<br>**M:** Número de incentivos y subsidios. |
| | **4.** Proveer placas solares y baterías con suficiente almacenamiento. | Departamento de la Vivienda | $6,600 por residencia (promedio) | | Corto y mediano plazo | **R:** Instalar placas y baterías en todas las residencias de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en tres años.<br>**M:** Instalar placas y baterías en 56,000 residencias de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en un año. |

## B. Concienciar a la ciudadanía de los riesgos para la salud derivados de los efectos del cambio climático.

### COA B.1: Establecer un plan para concienciar a la ciudadanía sobre los riesgos que representan para la salud los eventos derivados del cambio climático.

**Mejores prácticas:**

- En los ejemplos de la Ciudad de Nueva York y Rhode Island surgen tres lecciones importantes: la educación del personal, la importancia de entender la historia de los asuntos en los que se trabaja y lo fundamental de hacer que la organización se involucre con los movimientos locales. https://humanimpact.org/hipprojects/hegwebinars2017/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Educar y capacitar sobre los efectos del cambio climático en la salud de forma general, pero con énfasis particular en aquellos departamentos, oficinas o unidades que contribuyen a la adaptación institucional al cambio climático para responder a las necesidades existentes y emergentes que se asocian a este. | **1.** La oficina de cambio climático, salud pública y bienestar será la responsable de:<br>**a.** Contribuir al empoderamiento y la educación de todas las personas en torno a las manifestaciones del cambio climático y sus efectos en la salud considerando los principios y valores de JEDI. | | $100,000 - $200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | | | **R:** Al menos una campaña educativa utiliza diversos medios de comunicación.<br>**M:** Número de campañas educativas que incluyen los principios y valores de JEDI. |
| | **b.** Establecer alianzas con los medios de comunicación para llevar a cabo una campaña de educación sobre el cambio climático y sus efectos en la salud pública y el bienestar. | DS, Departamento de Recreación y Deportes y AAA | $100,000 - $200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Al menos una campaña anual en cada medio de comunicación disponible.<br>**M:** Número de acuerdos con medios de comunicación. |
| | **c.** Fomentar la participación comunitaria y la educación sobre los efectos en la salud pública y el bienestar de los eventos relacionados con el cambio climático. | | $100,000 - $200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | | | **R:** 100% de las comunidades identificadas participa en al menos una actividad educativa.<br>**M:** Número de reuniones comunitarias con fines educativos. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Educar y capacitar sobre los efectos del cambio climático en la salud de forma general, pero con énfasis particular en aquellos departamentos, oficinas o unidades que contribuyen a la adaptación institucional al cambio climático para responder a las necesidades existentes y emergentes que se asocian a este. | **d.** Fortalecer la capacidad de adaptación al cambio climático y a sus efectos en la salud de aquellos grupos identificados como vulnerables. | DS, Departamento de Recreación y Deportes y AAA | $100,000 - 200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **R:** Al menos una evaluación anual que identifique estrategias de adaptación para grupos vulnerables.<br>**M:** Número de evaluaciones a grupos identificados como vulnerables. |
| | **e.** Mejorar la capacidad y calidad de la respuesta gubernamental ante situaciones de emergencia provocadas por los efectos esperados del cambio climático en la salud y el bienestar de la población. | | $100,000 - 200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | | | **R:** Al menos una evaluación sobre la capacidad de respuesta cada dos años.<br>**M:** Número de evaluaciones sobre la capacidad de respuesta gubernamental. |
| | **f.** Evaluar la capacidad de respuesta gubernamental ante eventuales cambios en el perfil de morbilidad y mortalidad de la población derivados de la aparición de enfermedades emergentes o reemergentes como consecuencia del cambio climático. | | $200,000 | | | **R:** Al menos una evaluación anual.<br>**M:** Número de evaluaciones sobre la capacidad de respuesta gubernamental ante eventuales cambios de perfil, morbilidad y mortalidad. |

## C. Elaborar planes especiales de protección para los grupos de riesgos [*sic*] más vulnerables.

**COA C.1: La oficina de cambio climático, salud pública y bienestar contribuirá a fortalecer la capacidad de aquellos grupos identificados como vulnerables para adaptarse al cambio climático y a sus efectos en la salud.**

**Mejores prácticas:**

- Consultar la *Guía de equidad en salud de Human Impact Partners* para identificar acciones que pueden llevarse a cabo desde el DS. https://healthequityguide.org/
- Fomentar la participación comunitaria. El estado de Nueva York ha desarrollado guías dentro de su programa Races to Justice. https://www.nyc.gov/assets/doh/downloads/pdf/dpho/race-to-justice-action-kit-guide-community-engagement-framework.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Desarrollar e implantar planes de adaptación con un enfoque de JEDI. | **1.** Realizar una cartografía de las áreas geográficas más vulnerables y sensitivas y preparar protocolos de desplazamiento y refugio específicamente para las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas en casos de eventos climáticos extremos. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | $300,000 por región de salud | CDC y fondos IRA | Mediano plazo | **R:** Cartografía de cada área geográfica realizada.<br>**M:** Número de áreas identificadas. |
| | **2.** Establecer estrategias de protección de poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables a eventos de olas de calor, sequías, aumentos en el nivel del mar, tormentas e inundaciones, además de eventos que afectan la calidad del aire y del agua, así como la inocuidad de los alimentos. | | $100,000 - $200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | CDC | Corto y mediano plazo | **R:** Estrategias para cada estresor publicadas al menos anualmente.<br>**M:** Número de estrategias establecidas para la protección de las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables. |

## D. En conjunto con los gobiernos municipales, utilizar el perfil demográfico y análisis social de áreas municipales para evaluar áreas demográficas con mayor vulnerabilidad a la salud. Esto servirá como un accionar general de adaptación para la salud pública de las comunidades.

**COA D.1: Establecimiento de colaboraciones intersectoriales para atender los eventos relacionados con el cambio climático y su efecto en la salud pública y el bienestar.**

**Mejores prácticas:**

- Utilizar mecanismos como el Índice de Vulnerabilidad Social para identificar comunidades con necesidades para la preparación ante riesgos o la recuperación ante desastres. https://toolkit.climate.gov/tool/social-vulnerability-index

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** La oficina de cambio climático, salud pública y bienestar será la responsable de velar por el cumplimiento de los marcos conceptuales elaborados por los CDC[7] Construyendo Resiliencia contra los Efectos Climáticos (BRACE, por sus siglas en inglés) y JEDI en los planes de adaptación aplicables a los municipios. | **1.** Utilizar los marcos conceptuales de BRACE y JEDI, para desarrollar los planes de adaptación aplicables a los municipios. | DS y municipios | $100,000 - $200,000 (según la población de interés, se utilizan redes sociales o medios de comunicación tradicionales) | CDC y fondos IRA | Mediano plazo | **R:** 100 % de los municipios utiliza los marcos conceptuales en sus planes de adaptación.<br>**M:** Número de municipios con planes de adaptación que incluyen los marcos conceptuales BRACE y JEDI. |
| **D.1.2** Establecimiento de colaboraciones intersectoriales para atender los eventos relacionados con el cambio climático y su efecto en la salud pública y el bienestar. | **1.** Colaboración entre la Compañía de Parques Nacionales, el Departamento de Transportación y Obras Públicas, el **Negociado para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (NMEAD)** y grupos comunitarios para desarrollar e implantar un plan de infraestructura verde con los objetivos de reducir los riesgos de escorrentía de aguas pluviales e inundaciones y de proteger las vías fluviales y las líneas de alcantarillado de escombros y contaminantes. | Departamento de Salud, municipios, DRNA, NMEAD y la Policía de Puerto Rico | Indeterminable | CDC y fondos IRA | Mediano y largo plazo (colaboración permanente) | **R:** Al menos un acuerdo de colaboración con las agencias concernidas.<br>Estrategias 1-4.<br>**M:** Número de colaboraciones. |

[7] Véase información acerca de estos marcos conceptuales de los CDC en: https://www.cdc.gov/climateandhealth/BRACE.htm

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.2** Establecimiento de colaboraciones intersectoriales para atender los eventos relacionados con el cambio climático y su efecto en la salud pública y el bienestar. | **2.** Colaboración con organizaciones comunitarias con el fin de informar a las comunidades vulnerables sobre las proyecciones de impacto climático para marejadas ciclónicas, precipitaciones e inundaciones, e involucrar a los residentes de la comunidad en la resiliencia y preparación para inundaciones. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar | Indeterminable | CDC y fondos IRA | Corto y mediano plazo | **A) R:** Al menos tres organizaciones por cada región identificadas semestralmente.<br>**M:** Número de organizaciones participantes.<br>**B) R:** 100 % de participación de los sectores concernidos.<br>**M:** Número de sectores en colaboración. |
| | **3.** Desarrollar una colaboración intersectorial para atender la seguridad alimentaria. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar y Departamento de Agricultura | Indeterminable | | Corto plazo | **A) R:** Al menos una persona representante de cada sector.<br>**M:** Número de personas participantes.<br>**B) R:** Al menos un representante por sector.<br>**M:** Número de agencias y sectores con acuerdos colaborativos. |
| | **4.** Colaboración con los centros y sistemas de atención médica para aumentar la resiliencia a las inundaciones y planificar eventos extremos de tormentas e inundaciones. | DS, oficina de cambio climático, salud pública y bienestar; Departamento de la Familia y ASSMCA | Indeterminable | | Corto y mediano plazo | **R:** 100 % de los centros de salud colaboran.<br>**M:** Número de colaboraciones. |
| | **5.** Trabajar con los servicios sociales y las agencias de salud mental para asegurar el acceso a los servicios de salud mental. | | Indeterminable | | | **R:** Atención adecuada a las personas cuya salud mental está comprometida por las manifestaciones del cambio climático.<br>**M:** Colaboraciones con el Departamento de la Familia y ASSMCA. |

**Tabla 7.6.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **agricultura y ganadería**.

## A. Sistemas de producción y tecnología: Aumentar la productividad y mejorar la eficiencia de insumos a través de mejores prácticas de manejo y tecnología.

**COA A.1: Implantar buenas prácticas de manejo para mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y enmiendas[1] en la producción de cosechas.**

**Mejores prácticas:[2]**

- Manejo de niveles, fuentes, lugar y tiempo de aplicación de fertilizantes, fuentes orgánicas: *4R Nutrient Stewardship*. https://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/44795458.pdf
- Manejo de fuentes y niveles de enmiendas para corregir el exceso de acidez o alcalinidad en los suelos: *Sodicity and remediation of sodic soils in North Dakota. North Dakota State University*. SF1941. https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/sodicity-and-remediation-of-sodic-soils-in-north-dakota
- Uso de inhibidores y estimulantes de procesos microbianos y uso de fertilizantes especializados de eficiencia mejorada: Y. P. Timilsena *et al.,* (2014). *"Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns". Journal of Food and Agriculture, 95*(6). https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6812
- Rotación de cultivos con leguminosas (*cash-crop*) y cobertoras: *Cover crop trends, programs, and practices in the United States. USDA-ERS. Economic Information Bulletin number 222*, 33 pp. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/100551/eib-222.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[3] | Costo estimado[4] | Fuente potencial de financiamiento[5] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Mitigar las emisiones de GEI ($N_2O$ de fuentes inorgánicas y orgánicas) de los sistemas.<br><br>**A.1.2** Aumentar los rendimientos para mejorar la resiliencia de los agricultores al cambio climático.<br><br>**A.1.3** Aumentar el secuestro de carbono en suelos. | **1.** Realizar investigación conducente al desarrollo de estrategias para mejorar el manejo y el uso eficiente de los nutrientes.<br><br>**2.** Realizar investigación que ayude a validar estrategias existentes y nuevas sobre el estado nutricional de los suelos y cultivos.<br><br>Colaboradores potenciales: Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez; Colegio de Ciencias Agrícolas (UPR-RUM), Estación Experimental Agrícola (EEA); Instituto Nacional de Alimento y Agricultura. | DA | $1 millón (cada 5 años) | Departamento de Agricultura; Fondo de Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDA); Instituto Nacional de Alimento y Agricultura.[6] Algunos ejemplos específicos de fuentes de financiamiento son: HSI; AFRI; [...] | Largo plazo (12 años; recurrente) | **R:** Reducción de GEI.<br><br>**M:** Inventario anual de GEI.<br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | | | | | | **R:** Inventario de consumo de nutrientes (N, $P_2O_5$, $K_2O$) por cultivos.<br><br>**M:** Toneladas de nutrientes consumidos por cultivos.<br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

[1] *Enmiendas* se conoce como cualquier material añadido al suelo con reclamo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

[2] En la agricultura, el término *mejores prácticas de manejo* (MPM) se refiere a formas efectivas y económicamente viables para reducir o prevenir los impactos negativos sobre el suelo, el agua, el aire y los organismos. En el caso de los nutrientes provenientes de estiércol y fertilizantes, las mejores prácticas de manejo deben minimizar las pérdidas de nutrientes y maximizar la utilización por cultivos.

[3] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[4] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[5] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

[6] Véase https://www.nifa.usda.gov/ Una lista de las áreas programáticas se puede encontrar en: https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/program-operational-areas

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Mitigar las emisiones de GEI ($N_2O$ de fuentes inorgánicas y orgánicas) de los sistemas.<br><br>**A.1.2** Aumentar los rendimientos para mejorar la resiliencia de los agricultores al cambio climático.<br><br>**A.1.3** Aumentar el secuestro de carbono en suelos. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores para promover que estos últimos roten cultivos con leguminosas como cultivos comerciales o cobertoras,[7] y que usen gramíneas que aporten carbono al suelo.<br><br>**4.** Capacitar a agricultores en las mejores prácticas de manejo de nutrientes. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Manejo de niveles, fuentes, lugar y tiempo de aplicación de fertilizantes y fuentes orgánicas.<br><br>**b.** Manejo de fuentes y niveles de enmiendas para corregir el exceso de acidez o alcalinidad en los suelos.<br><br>**c.** Uso de inhibidores y estimulantes de procesos microbianos y uso de fertilizantes especializados de eficiencia mejorada.<br><br>**d.** Mejorar el diagnóstico del estado nutricional de los cultivos mediante la agricultura de precisión.<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (Facultad [FAC]; Servicio de Extensión Agrícola [SEA]), USDA-NRCS, agricultores que sirvan de modelo, organizaciones de base comunitaria y sin fines de lucro. | DA | $110,000 (5 años) | Departamento de Agricultura; Fondo de Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDA); Instituto Nacional de Alimento y Agricultura. Algunos ejemplos específicos de fuentes de financiamiento son: HSI; AFRI; Hatch; McIntire Stennis, y Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA-NRCS, programas e iniciativas: https://www.nrcs.usda.gov/programs-initiatives) | Largo plazo 12 años (recurrente) | **R:** Agricultores más capacitados en el manejo de nutrientes y enmiendas.<br><br>**M:** Número de agricultores con certificación voluntaria.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **5.** Ofrecer incentivos de carácter voluntario a agricultores para el establecimiento de mejores prácticas en el manejo de nutrientes.<br><br>**6.** Ofrecer certificación que evidencie que en la finca se realizan buenas prácticas de manejo de nutrientes.<br><br>Colaborador potencial: USDA-NRCS. | DA | $45 millones (5-años) | Fondos propios del DAPR y Asamblea Legislativa | Mediano plazo | **R:** Agricultores emplean prácticas adecuadas de manejo de nutrientes y enmiendas.<br><br>**M:** Número de agricultores que realizan buen manejo de nutrientes mediante certificación voluntaria.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

[7] Material vegetal utilizado entre cultivos comerciales estacionales con reclamo de mejorar la salud y fertilidad del suelo.

## COA A.2: Adoptar mejores prácticas agronómicas para el manejo de cultivos.

**Mejores prácticas:**

- Acceso adecuado a semillas de calidad y precios asequibles: Semillas Selectas UPR-RUM EEA. https://www.uprm.edu/eeastore/
- Diversificación de cultivos y variedades en los sistemas de producción: Beaver *et al.,* (2020). *"Contributions in Puerto Rico to bean Phaseolus spp., research". J. Agric. Univ. P.R., 104*, pp. 43-111. https://www.uprm.edu/hortalizasygranosbasicos/wp-content/uploads/sites/330/2021/06/Contributions-in-Puerto-Rico-to-Bean-Research-2020-JAUPR-v.-104-p.-43-111..pdf
- Mejorar estrategias para el manejo de la cosecha y poscosecha (momento, completar, manejo de producto y transporte del producto): *2017 University of Puerto Rico combined research and extension annual report of accomplishments and results*, y A. Elik *et al.,* (2019). *"Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables". International Journal of Scientific and Technological Research, 5*(3):
  - https://portal.nifa.usda.gov/web/areera/Reports/2017/2017-University-of-Puerto-Rico-Combined-Research-and-Extension-Annual-Report-of-Accomplishments-and-Results.pdf
  - https://www.iiste.org/Journals/index.php/JSTR/article/view/46757
- Diagnóstico y manejo integrado de plagas y enfermedades (control cultural, mecánico, químico y biológico): Almodóvar (2014). *Puerto Rico IPM Coordination Program*. https://reeis.usda.gov/web/crisprojectpages/1002222-puerto-rico-ipm-coordination-program.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**A.2.2** Mejorar la calidad de los productos.<br><br>**A.2.3** Mejorar la inocuidad de los productos.<br><br>**A.2.4** Mejorar la resiliencia de los agricultores al cambio climático. | **1.** Realizar investigación conducente al fitomejoramiento de los cultivos de importancia para Puerto Rico mediante métodos convencionales y no convencionales.<br><br>**2.** Realizar investigación que permita adaptar y transferir tecnología de manejo integrado de plagas y reducir la dependencia de plaguicidas sintéticos.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (EEA). | DA | $4 millones (5 años) | DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Largo plazo 10 años (recurrente) | **R:** Aumentar el conocimiento y la tecnología en el fitomejoramiento.<br><br>**M:** Número de publicaciones científicas y opúsculos, y cultivos y sus características mejoradas.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**A.2.2** Mejorar la calidad de los productos.<br><br>**A.2.3** Mejorar la inocuidad de los productos.<br><br>**A.2.4** Mejorar la resiliencia de los agricultores al cambio climático. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores sobre las prácticas recomendadas (culturales, manejo de plagas y manejo agronómico) para la producción de cultivos.<br><br>**4.** Capacitar a agricultores y técnicos agrícolas en estrategias para mejorar el manejo de las cosechas y el manejo poscosecha. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Acceso adecuado a semillas de calidad y precios asequibles.<br><br>**b.** Diversificación de cultivos y variedades en los sistemas de producción.<br><br>**c.** Mejorar estrategias para el manejo de la cosecha y poscosecha (momento, completar, manejo de producto y transporte del producto).<br><br>**d.** Diagnóstico y control adecuado de malezas (control cultural, mecánico y químico).<br><br>**e.** Diagnóstico y manejo integrado de plagas y enfermedades (control cultural, mecánico, químico y biológico).<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (SEA, FAC), USDA-NRCS, distritos de conservación, agricultores que sirvan de modelo y organizaciones de base comunitaria y sin fines de lucro. | DA | $110,000 (5 años) | DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Largo plazo (10 años; recurrente) | **R:** Identificar las áreas en producción e inventarios de los sistemas de producción mediante la herramienta Sistema de Información Geográfica (SIG).<br><br>**M:** Mapas que reflejen un inventario de las áreas en producción mediante la herramienta SIG.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>**R:** Aumento en el número de agricultores que realizan buenas prácticas en el manejo de cultivos.<br><br>**M:** Número de agricultores que realizan buenas prácticas de manejo de cultivos.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**A.2.2** Mejorar la calidad de los productos.<br><br>**A.2.3** Mejorar la inocuidad de los productos.<br><br>**A.2.4** Mejorar la resiliencia de los agricultores al cambio climático. | **5.** Facilitar mecanismos para que los agricultores obtengan semillas de cultivos de alta calidad y a bajo costo.<br><br>**6.** Establecer inventarios de carbono en suelos a nivel de finca que demuestren el progreso de los agricultores en el secuestro de carbono en los suelos.<br><br>**7.** Establecer un programa de certificación de buenas prácticas agrícolas. Las entidades responsables deben procurar que el programa sea accesible a los agricultores de escala pequeña y mediana.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NRCS, distritos de conservación, USDA-APHIS, US FDA, USDA-GAP & GHP,[8] organizaciones sin fines de lucro, USDA-AMS, *Fruit and Vegetable Programs. Good Agricultural Practices and Good Handling Practices Audit Verification Program*.[9] | DA | $30 millones (5 años) | DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Aumento en el número, tipo y nivel de cumplimiento de las prácticas empleadas.<br><br>**M:** Inventario del número, tipo y nivel de cumplimiento de las prácticas empleadas.<br><br>**R:** Creación del programa de certificación de buenas prácticas.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

[8] Véase más información en: https://www.ams.usda.gov/services/auditing/gap-ghp
[9] Véase más información en: https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/GAPGHP_UsersGuide.pdf

## COA A.3: Adoptar mejores prácticas para el manejo de animales.

**Mejores prácticas:**

- Mejoría en la salud de los animales: Dawkins, M. S. (2021). *"Does smart farming improve or damage animal welfare?". Frontiers in Animal Science, 2.* https://reeis.usda.gov/web/crisprojectpages/1002222-puerto-rico-ipm-coordination-program.html
- Mejoría en la genética de los animales y en la calidad de pasturas y alimento: UPR-RUM. Exitosa la quinta exportación de ganado Senepol. https://www.uprm.edu/portada/2022/06/03/quintaexportaciondesenepol/
- Mejor manejo de pasturas y estrategias de pastoreo manteniendo la productividad y control de plantas arvenses: W. D. Pitman y A. Sotomayor-Rios (2001). *Tropical forage plants development and use. Taylor & Francis Group.*

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Mitigar las emisiones directas de GEI ($CH_4$) de los animales.<br><br>**A.3.2** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**A.3.3** Mejorar la resiliencia de los animales a los indicadores del cambio climático. | **1.** Realizar investigación conducente al mejoramiento de la salud y bienestar de los animales y a la eficiencia de su reproducción.<br><br>**2.** Realizar investigación conducente al mejoramiento genético de animales que facilite su adaptación a fin de que contribuyan a mitigar el cambio climático.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (EEA). | DA | $2 millones (5 años) | DAPR; USDA-NIFA y USDA-NRCS | Largo plazo (10 años; recurrente) | **R:** Aumentar el conocimiento y tecnología en la salud y bienestar de animales; así como su reproducción.<br><br>**M:** Número de publicaciones y opúsculos realizadas en el período.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Mitigar las emisiones directas de GEI ($CH_4$) de los animales.<br><br>**A.3.2** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**A.3.3** Mejorar la resiliencia de los animales a los indicadores del cambio climático. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores sobre las prácticas recomendadas (limpieza, alimentación y manejo de plagas) para la producción animal.<br><br>**4.** Capacitar a agricultores y técnicos agrícolas en estrategias para mejorar el manejo de las cosechas y el manejo poscosecha. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Mejoría en la salud de los animales.<br><br>**b.** Mejoría en la eficiencia de reproducción.<br><br>**c.** Mejoría en la genética de los animales.<br><br>**d.** Mejoría en la calidad de pasturas y alimento.<br><br>**e.** Mejor manejo de pasturas y estrategias de pastoreo manteniendo la productividad y el control de plantas arvenses.<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (SEA, FAC) y USDA-NRCS. | DA | $250,000 (5 años) | DAPR; USDA-NIFA y USDA-NRCS | Largo plazo (10 años; recurrente) | **R:** Aumentar el número de agricultores que realizan buenas prácticas de sus pasturas.<br><br>**M:** Inventario del número de agricultores y fincas productoras de animales y que realizan buenas prácticas de manejo de las pasturas.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **5.** Facilitar que los agricultores tengan acceso a animales de alta calidad y a bajo costo.<br><br>**6.** Establecer un programa voluntario de certificación sobre el buen trato animal (FARM Environmental Stewardship - https://nationaldairyfarm.com/dairy-farm-standards/environmental-stewardship/).<br><br>**7.** Establecer un programa de certificación de buenas prácticas agrícolas de forraje. Las entidades responsables deben procurar que el programa sea accesible a los agricultores de escala pequeña y mediana.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NRCS; USDA-APHIS. | DA | $50 millones (5 años) | DAPR-FIDA y USDA-NRCS | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Aumentar el número de agricultores que realizan buenas prácticas de manejo animales.<br><br>**M:** Inventario del número de agricultores y fincas productoras de animales y que realizan buenas prácticas de manejo animal.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

## COA A.4: Adoptar mejores prácticas agronómicas para el manejo de estiércol.

**Mejores prácticas:**

- Actualización y validación de los planes de manejo de nutrientes en los sistemas de producción animal: USDA-NRCS. *Nutrient Management*. https://www.nrcs.usda.gov/getting-assistance/other-topics/nutrient-management
- Modificación de la dieta animal y optimización de las prácticas de pastoreo: *Improving manure through feed quality*. https://www.manuremanager.com/improving-manure-through-feed-quality/
- Evaluación e identificación en la optimización de los procesos para dar valor añadido al estiércol: L. Loyon (2018). *"Overview of animal manure management for beef, pig, and poultry farms in France". Frontiers in Sustainable Food System, 2*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00036/full

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Mitigar las emisiones de GEI ($N_2O$ y $CH_4$) del estiércol almacenado en charcas y depositado en suelos.<br><br>**A.4.2** Aumentar el secuestro de carbono en el suelo.<br><br>**A.4.3** Mejorar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.<br><br>**A.4.4** Reducir las pérdidas de N y P en la escorrentía. | **1.** Realizar investigación conducente a dar valor añadido al estiércol.<br><br>**2.** Realizar investigación a fin de identificar prácticas para la reducción de las emisiones directas de GEI de los animales.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (EEA). | DA | $2 millones (5 años) | DAPR; USDA-NIFA y USDA-NRCS | Largo plazo (12 años; recurrente) | **R:** Aumentar el número de agricultores que realizan buenas prácticas de manejo de estiércol.<br><br>**M:** Inventario de número de agricultores y fincas productoras de animales que realizan buenas prácticas de manejo de estiércol.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>**R:** Crear una base de datos que sirva para identificar el número, tipo de práctica empleada y su localización geográfica.<br><br>**M:** Base de datos que sirva para identificar el número, tipo de práctica empleada y su localización geográfica.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Mitigar las emisiones de GEI ($N_2O$ y $CH_4$) del estiércol almacenado en charcas y depositado en suelos.<br><br>**A.4.2** Aumentar el secuestro de carbono en el suelo.<br><br>**A.4.3** Mejorar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.<br><br>**A.4.4** Reducir las pérdidas de N y P en la escorrentía. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores sobre las mejores prácticas para el manejo del estiércol.<br><br>**4.** Capacitar a agricultores y técnicos agrícolas en las estrategias para reducir el transporte y la persistencia de nutrientes y patógenos provenientes del estiércol en los cuerpos de agua. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Actualización y validación de los planes de manejo de nutrientes en los sistemas de producción animal.<br><br>**b.** Modificación de la dieta animal y optimización de las prácticas de pastoreo.<br><br>**c.** Evaluación de las técnicas y los procesos para reducir la concentración y liberación de patógenos y compuestos zoonóticos.<br><br>**d.** Evaluación e identificación en la optimización de los procesos para dar valor añadido al estiércol.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (SEA, FAC) y USDA-NRCS. | DA | $250,000 (5 años) | DAPR; USDA-NIFA y USDA-NRCS [10] | Largo plazo (12 años; recurrente) | **R:** Aumentar el número de agricultores que realizan buenas prácticas de manejo de estiércol.<br><br>**M:** Inventario de número de agricultores y fincas productoras de animales y que realizan buenas prácticas de manejo de estiércol.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>**R:** Crear una base de datos que sirva para identificar el número, tipo de práctica empleada y su localización geográfica.<br><br>**M:** Base de datos que sirva para identificar el número, tipo de práctica empleada y su localización geográfica.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **5.** Facilitar que los agricultores puedan almacenar y disponer adecuadamente del estiércol.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NRCS, USDA-APHIS.[11] | DA | $25 millones (5 años) | DAPR y USDA-NRCS | Mediano plazo (recurrente) | |

[10] USDA-NRCS https://www.nrcs.usda.gov/getting-assistance/technical-assistance/manure-and-nutrient-management
[11] Véase https://www.aphis.usda.gov

**COA A.5: Establecer prácticas de pesca comercial y acuicultura sostenible para aumentar la seguridad alimentaria ante el cambio climático.**

**Mejores prácticas:**

- Potencial y proyecciones de la acuicultura en Puerto Rico y áreas aledañas, Cabarcas-Nuñez, Alexis & Cortes-Maldonado, Ricardo, https://ageconsearch.umn.edu/record/257021
- Plan de adaptación al cambio climático para pesca y acuicultura, Gobierno de Chile 2015, https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-97315_recurso_1.pdf
- Programa de Educación de Pesca Comercial Manual de Taller, DRNA: https://www.ncei.noaa.gov/data/oceans/coris/library/NOAA/CRCP/NOS/OCM/Projects/31103/NA16NOS4820106/TNC2017_ProgramaEducacionDePesca_ManualDeTaller.pdf
- Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: Potenciales impactos y desafíos para la adaptación, 2011, https://www.fao.org/3/i3356s/i3356s.pdf
- Plan piloto comunitario de adaptación al cambio climático: Municipio de Culebra, https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2018/01/AdaptacionCambioClimatico_Culebra.pdf
- Consumidor responsable para pesca sustentable, 2017: https://www.caribbeanfmc.com/fact_sheets/fact%20sheets%20NATI/Fact_Sheet_ConsumidorResponsable.pdf
- Bahri, T., Vasconcellos, M., Welch, D.J., Johnson, J., Perry, R.I., Ma, X. & Sharma, R., eds. 2021. Adaptive management of fisheries in response to climate change. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 667. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cb3095en
- La inteligencia artificial aplicado a la pesca artesanal (2023). https://medium.com/@escobaryepes11/la-inteligencia-artificial-aplicado-a-la-pesca-artesanal-ac0ce4a31a7f
- National Geographic (2023). MARLIN, una inteligencia artificial para combatir la pesca ilegal y proteger los océanos. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/marlin-ia-para-combatir-pesca-ilegal-proteger-oceanos_20465

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.1** Diversificar la pesca comercial en el país para mejorar la seguridad alimentaria y proteger los recursos marinos. | **1.** Expandir la captura a nuevas especies menos sensibles al cambio climático a través de estudios biológicos realizados en vida marina.<br>**2.** Definir las actividades a nivel comercial y artesanal que se pueden desarrollar con los productos que genera diversificar la pesca comercial y su viabilidad.<br>Colaborador potencial: NOAA y el Caribbean Fishery Management Council (CFMC). | DA y DRNA | $1 millón | Fondos propios de las entidades responsables y de NOAA. | Mediano plazo | **R1:** Estudios biológicos realizados en vida marina que indiquen especies menos sensibles al cambio climático.<br>**R2:** Mayor capacitación a los pescadores sobre la captura de nuevas especies menos sensibles a las temperaturas y otros efectos del cambio climático.<br>**M1:** Número de actividades comerciales y artesanales definidas que generan diversidad de pesca comercial y divulgación de las mismas con actualización anual.<br>**M2:** Divulgación anual de lista oficial accesible y con información científica actualizada de especies menos sensibles al cambio climático en aguas jurisdiccionales de Puerto Rico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.1** Diversificar la pesca comercial en el país para mejorar la seguridad alimentaria y proteger los recursos marinos. | **3.** Fomentar el consumo seguro de especies invasoras como el pez león para mantener el control poblacional de esta especie invasora y que las personas adquieran el conocimiento correcto en torno a su valor nutricional. Este pez se alimenta de los individuos más jóvenes de meros y langostas, los cuales son de potencial comercial en Puerto Rico. | DRNA | $30,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Mayor capacitación de los pescadores, restaurantes, suplidores y público en general sobre el consumo del pez león.<br>**M:** Aumento del 50 % de la captura y consumo del pez león en los negocios y restaurantes de manera legal. |
| | **4.** Desarrollar investigaciones científicas en colaboración con las universidades, organizaciones ambientales y pescadores para actualizar la determinación de los rangos de edades, tasas de crecimiento, frecuencia de reproducción, número de crías, migraciones, mortalidad y muertes incidentales de las especies que más se cosechan en Puerto Rico.<br>Potenciales colaboradores: UPR, Sea Grant, CFMC, NOAA y ONG. | DRNA | $500,000 | Fondos propios de la entidad responsable y de NOAA | Mediano plazo<br>Largo plazo (10 años) | **R:** Se espera un mayor número de investigaciones y publicaciones sobre la pesca sostenible y los factores biológicos de los peces comerciales.<br>**M:** Aumento del 50 % en las propuestas e investigaciones sobre la pesca sostenible en Puerto Rico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.2** Desarrollar la acuicultura de especies adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, con énfasis en la sostenibilidad y la eficiencia. | **1.** Promover la acuicultura de una manera sostenible a base de sistemas de policultivos como una alternativa viable para el desarrollo acuícola por las siguientes razones:<br>**a.** Mayor eficiencia en el área de los estanques.<br>**b.** Mayor estabilidad ecológica.<br>**c.** Aumento en la producción total del estanque.<br>**d.** Poco aumento en las labores de manejo comparadas con monocultivos.<br>**e.** Mayor estabilidad de mercadeo debido a los productos que pueden ser obtenidos simultáneamente.<br>**f.** Disminución del factor de conversión alimentaria.<br>**g.** Reducción de costos de alimentación.<br>**h.** Mejoras en la calidad del agua.<br>**i.** Disminución de interrelaciones negativas entre las especies cultivadas, excepto por su propia densidad de siembra. | DA | $1 millón | Fondos propios de la entidad responsable y de NOAA | Mediano plazo<br>Largo plazo (10 años) | **R:** Mayor capacitación entre los pescadores y comerciantes sobre la acuicultura.<br>**M:** Creación de un programa de acuicultura sostenible en Puerto Rico para promover alternativas de negocios con fuentes de financiamiento disponibles. |
| | **2.** Incentivar negocios para el desarrollo de policultivos de diferentes especies de acuacultura conforme a lo permitido por el DRNA. | DA | | Fondos propios de la entidad responsable y fondos federales (NOAA y USDA-National Institute of Food and Agriculture (NIFA) | Mediano plazo<br>Largo plazo (10 años) | **R:** Se espera mayor número de incentivos para el desarrollo de policultivos.<br>**M:** Aumento de 20 % en el número de negocios con acuicultura y maricultura en Puerto Rico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.3** Monitorear el cumplimiento de las especies dentro del registro de Vedas en Aguas Jurisdiccionales de Puerto Rico. | **1.** Informar por diferentes medios de comunicación (que incluya televisión, radio, prensa escrita e internet) las especies en veda aplicable tanto a pescadores comerciales como recreativos. Estas especies incluyen: mero cabrilla, guajil, sama, chillo, alinegra, carrucho, mero batata, mero cherna, entre otras.<br>**2.** Fortalecer el sistema de registro para la pesca comercial donde se reporten las capturas de las especies permitidas, datos de venta de pescados y mariscos, si las especies capturadas son presas o depredadores. | DRNA | $500,000 | Fondos propios de la entidad responsable y fondos federales (NOAA y USDA-NIFA) | Corto plazo<br>Mediano plazo | **R:** Mayor contratación de personal adiestrado y adiestramientos.<br>**R:** Sistema de registro actualizado y fortalecido en su formato para pesca comercial.<br>**M:** Aumento en la divulgación mensualmente de información sobre las especies en veda a través de los diferentes medios, con un alcance preferiblemente entre el 70 % al 89 % de cobertura.<br>**M:** Informe anual que incluya datos precisos sobre capturas, venta de pescados y mariscos, y si las especies capturadas son presas o depredadores. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.4** Promover el consumo responsable de pescados y mariscos para la protección de todas las pesquerías a nivel local. | **1.** Desarrollar dos campañas al año que promuevan el consumo responsable de pescados y mariscos. A través de estas campañas, los pescadores, dueños de restaurantes, suplidores y el público en general podrán:<br>**a.** Establecer una mejor trazabilidad del marisco fresco (local). Desde el pescador hasta el plato (Colaboración potencial: Compañía de Turismo).<br>**b.** Reconocer las especies de peces y otros organismos marinos que se pescan en Puerto Rico.<br>**c.** Proveer mayor información al público sobre datos importantes de las especies de peces, a través de las cartas de menú de los restaurantes y pesquerías.<br>**d.** Familiarizarse con los datos de la historia natural de esas especies y los hábitats que ocupan.<br>**e.** Conocer las épocas de veda que se aplican a estas especies como medida de protección.<br>**f.** Consumir solamente especies que no están en veda.<br>**g.** Seleccionar otras especies de peces y de mariscos pescados localmente que no están en veda.<br>**h.** Aprender a cocinar el pescado o marisco en diferentes formas que permiten un mejor aprovechamiento del producto. | DA | $50,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Se esperan al menos dos campañas al año a través de dicho programa del DA.<br>**M:** Divulgación intensiva (mínimo dos campañas anuales) del Programa para el Fomento, Desarrollo y Administración Pesquera de la Industria Pesquera y Acuicultura del DA. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.5** Visibilizar un banco de especies vulnerables al cambio climático para promover el aprendizaje entre los pescadores y el público en general. | **1.** Divulgar anualmente por diferentes medios de comunicación información actualizada a los pescadores, restaurantes y al público en general sobre las especies vulnerables a las temperaturas. | DRNA | $20,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Divulgación anual en diferentes medios de comunicación de información actualizada a los pescadores, restaurantes y al público en general sobre las especies vulnerables a las temperaturas.<br><br>**M:** El alcance óptimo de la divulgación anual de información debe estar preferiblemente entre el 70 % al 89 % de cobertura entre la comunidad de pescadores, comercios y público en general. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.6** Desarrollar nuevas tecnologías de pesca sostenible. | **1.** Implementar prácticas de precisión de la pesca comercial para reducir el impacto ambiental y la captura incidental, que incluyan:<br>**a.** Establecer mayor monitoreo de los impactos de la pesca incidental a los juveniles y otras especies que sirven de alimento y las que conservan el balance ecológico.<br>**b.** Establecer rigurosidad en los procesos de auditorías o evaluaciones de abastos (*stock assessment*), que incluya cámaras a bordo de las embarcaciones de pesca comercial e industrial para saber si la especie está o no considerada en una condición óptima.<br>**c.** Establecer métricas validadas que incluyan el número relativo de animales, edad, tasas de reproducción, tasa de fecundidad, éxito de reproducción, reclutamiento, supervivencia, captura incidental, tendencias de esfuerzos de pesca, los desembarcos y tamaños de los peces cosechados.<br>**d.** Utilizar sistemas de inteligencia artificial (IA) y calendarios lunares para analizar los datos de los peces capturados por los pescadores para determinar el mejor tiempo para finalizar la veda.<br>**e.** Establecer sistemas de drones e inteligencia artificial para identificar la pesca ilegal, ayudar a los acuicultores a determinar el estado de salud de los peces, detectar signos de enfermedad y alertar a los acuicultores para que tomen las medidas necesarias. | DRNA | $1 millón | Fondos federales:<br>NOAA y USDA-NIFA | Largo plazo (10 años) | **R:** Aumentar la capacitación del personal del DRNA en nuevas tecnologías de IA para el avance de la industria.<br>**M:** Sistema en funcionamiento de monitoreo con IA e instalación de cámaras monitoreadas por el gobierno. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.7** Establecer estrategias de gobernanza adaptativa. | **1.** Fortalecer las políticas y regulaciones pesqueras para gestionar los recursos de manera sostenible y adaptable al cambio climático. | DA | N/A | Fondos propios de la entidad responsable. | Mediano plazo | **R:** Fortalecimiento de las políticas y regulaciones pesqueras para gestionar los recursos de manera sostenible y adaptable al cambio climático.<br><br>**M1:** Se espera que más del 50 % del sector comercial reciba capacitación en alternativas de inversión costoefectiva que contribuyan a la industria pesquera.<br><br>**M2:** Política pública que incluya los mecanismos institucionales, financieros y tecnológicos que estimulen la participación del sector privado en el desarrollo de la pesca y la acuicultura. |

## B. Conservación y manejo de recursos: mantener y mejorar la conservación de los recursos.

### COA B.1: Establecer un programa para la preservación y mejoramiento de los recursos genéticos de microorganismos, plantas y animales.

**Mejores prácticas:**

- Evitar la entrada de plagas y otros organismos extraños que puedan afectar los cultivos y animales en Puerto Rico: USDA-APHIS. https://www.aphis.usda.gov
- Promover el desarrollo genético y el uso de semillas de cultivos que tengan adaptación superior a las condiciones del Caribe y a condiciones asociadas al cambio climático, tales como estrés de altas temperaturas y sequía: M.R. Smith *et al.,* (2022). *"Effect of drought and low P on yield and nutritional content in common bean", Frontiers in Plant Science, 13*, 814325. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.814325/full
- Crear y fortalecer programas para el mejoramiento de la producción de animales (bovinos, porcinos, pequeños rumiantes y otros) de alta calidad genética y adaptados a las condiciones del cambio climático: K. Rapin (2023). *"Farmers are breeding heat-resistant cows". Ambrook Research*. https://ambrook.com/research/livestock/cows-puerto-rico-heat-stress-slick-mutation
- Promover las prácticas que aumentan y mejoran la población y diversidad microbiana en los suelos: M. Bertola *et al.,* (2021). *"Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation". Microorganisms, 9*(7). https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8308033/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir los efectos negativos del cambio climático sobre las cosechas y los animales.<br><br>**B.1.2** Aumentar la producción y diversidad de los cultivos y animales para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**B.1.3** Fortalecer la resiliencia de los cultivos y los animales a las condiciones del cambio climático.<br><br>**B.1.4** Mejorar la biodiversidad de la flora y fauna usada en la producción agrícola y la que está presente en los sistemas agrícolas. | **1.** Realizar investigación conducente al mejoramiento genético de plantas y animales mediante métodos convencionales y no convencionales adaptados a las condiciones del cambio climático.<br><br>**2.** Programa de preservación de semillas y genética animal.<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (EEA) y Recinto de Ciencias Médicas; USDA-NRCS; USDA-*Agricultural Research Service*; *Tropical Agricultural Research Station* (Mayagüez); *U. S. Forest Service*. | DA | $3 millones (5 años) | DAPR, USDA-NIFA y USDA-NRCS | Largo plazo (12 años; recurrente) | **R:** Aumentar el conocimiento y tecnología en la preservación y mejoramiento de recursos genéticos.<br><br>**M:** Número de publicaciones y opúsculos producidos en la preservación y mejoramiento de recursos genéticos<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir los efectos negativos del cambio climático sobre las cosechas y los animales.<br><br>**B.1.2** Aumentar la producción y diversidad de los cultivos y animales para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**B.1.3** Fortalecer la resiliencia de los cultivos y los animales a las condiciones del cambio climático.<br><br>**B.1.4** Mejorar la biodiversidad de la flora y fauna usada en la producción agrícola y la que está presente en los sistemas agrícolas. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores en las mejores prácticas para la preservación de los recursos genéticos. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Evitar la entrada de plagas y otros organismos extraños que puedan afectar los cultivos y animales en Puerto Rico.<br><br>**b.** Promover el desarrollo genético y el uso de semillas de cultivos que tengan adaptación superior a las condiciones del Caribe y a condiciones asociadas al cambio climático.<br><br>**c.** Crear y fortalecer programas de mejoramiento para la producción de animales de alta calidad genética y adaptados a las condiciones del cambio climático.<br><br>**d.** Promover las prácticas que aumentan y mejoran la población y diversidad microbiana en los suelos.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (SEA, FAC). | DA | $375,000 (5 años) | DAPR, USDA-NIFA y USDA-NRCS | Largo plazo (12 años; recurrente) | **R:** Aumento en el número de agricultores que utilizan cultivos y animales mejorados.<br><br>**M:** Inventario del número de agricultores y localización geográfica de agricultores que utilizan cultivos y animales mejorados.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir los efectos negativos del cambio climático sobre las cosechas y los animales.<br><br>**B.1.2** Aumentar la producción y diversidad de los cultivos y animales para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**B.1.3** Fortalecer la resiliencia de los cultivos y los animales a las condiciones del cambio climático.<br><br>**B.1.4** Mejorar la biodiversidad de la flora y fauna usada en la producción agrícola y la que está presente en los sistemas agrícolas. | **4.** Fortalecer el programa de producción de semillas de la UPRM.<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (EEA) y agricultores. | DA | $2.5 millones (5 años) | Combinación de fondos propios que se autogeneren; fondos USDA (SBA *startup*); fondos de DAPR | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Aumento en el número de agricultores que compran semillas certificadas.<br><br>**M:** Inventario del número de agricultores que compran semillas certificadas.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **5.** Crear asociación con la industria privada para el establecimiento y mantenimiento de un programa de cultivo de tejidos.<br><br>Colaboradores potenciales: empresas privadas. | | $9 millones (5 años) | | | |
| | **6.** Fortalecer programa de mejoramiento de ganado de carne y crear programa similar con otros tipos de animales.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NRCS y USDA-APHIS; empresas privadas; agricultores privados; organizaciones de base comunitaria y no gubernamentales. | | $1.3 millones (5 años) | | | **R:** Aumento en el número de agricultores que compran animales mejorados y de calidad.<br><br>**M:** Inventario del número de agricultores que compran animales mejorados y de calidad.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

**COA B.2. Adaptar e implementar mejores prácticas para la conservación de suelos, recursos de agua y biodiversidad y aumentar el secuestro de carbono en suelos.**

**Mejores prácticas:**

- Promover prácticas que reduzcan la erosión, aumenten la salud y la fertilidad del suelo, y minimicen la erosión por viento y agua: *USDA, Farmers.gov*. *Soil* health. https://www.farmers.gov/conservation/soil-health
- Promover prácticas que reduzcan la aportación de nutrientes a aguas superficiales y subterráneas: *Alliance for the Great Lakes*. https://greatlakes.org/campaigns/agricultural-pollution-the-great-lakes/
- Promocionar actividades agrícolas que logren co-beneficios entre biodiversidad y producción agrícola: T. Mabhaudhi *et al.,* (2022). *"Diversity and diversification: Ecosystem services derived from underutilized crops and their co-benefits for sustainable agricultural landscapes and resilient food systems in Africa". Frontiers in Agronomy, 4*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagro.2022.859223/full
- Promover las prácticas que reducen la degradación de suelos (acidificación, salinización, pérdida de biodiversidad y salud de suelo): L. Olsson *et al.,* (2019). *"Land Degradation: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land 5 Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and 6 Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems".* En *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land 5 Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and 6 Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*
- Aumentar el secuestro de carbono mediante la formación de la materia orgánica del suelo: R. Lal (2021). *"Climate change and agricultur". En Climate Change. Observed Impacts on Planet Earth* (pp. 661-686). Elsevier.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Aumentar la producción agrícola local para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**B.2.2** Mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático.<br><br>**B.2.3** Reducir emisiones de GEI ($N_2O$).<br><br>**B.2.4** Aumentar el secuestro de carbono mediante un aumento en la materia orgánica en suelos. | **1.** Realizar investigación conducente a la conservación de suelos, recursos de agua y biodiversidad.<br><br>**2.** Realizar investigación para identificar estrategias de secuestro de carbono en suelos.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (EEA). | DA | $2 millones (5-años) | DAPR-FIDA; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Largo plazo (12 años, recurrente) | **R:** Mejoría en la calidad de los recursos informáticos del suelo, y genética de plantas y animales.<br><br>**M:** Publicaciones y opúsculos producidos, además de revisión periódica de los catastros e inventario de suelos.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Aumentar la producción agrícola local para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**B.2.2** Mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático.<br><br>**B.2.3** Reducir emisiones de GEI ($N_2O$).<br><br>**B.2.4** Aumentar el secuestro de carbono mediante un aumento en la materia orgánica en suelos. | **3.** Capacitar y educar a técnicos agrícolas y agricultores sobre prácticas recomendadas para la conservación de suelos, recursos de agua y biodiversidad y aumentar el secuestro de carbono en suelos. Entre las mejores prácticas se destacan:<br><br>**a.** Promover las prácticas que reduzcan la erosión, aumentan la salud del suelo, aumenten la fertilidad del suelo y minimizan la erosión por viento y agua.<br><br>**b.** Promover prácticas que reduzcan la aportación de los nutrientes a las aguas superficiales y subterráneas.<br><br>**c.** Promocionar actividades agrícolas que logren co-beneficios entre biodiversidad y producción agrícola.<br><br>**d.** Promover las prácticas que reducen la degradación de los suelos (acidificación, salinización, pérdida de biodiversidad y salud del suelo).<br><br>**e.** Aumentar el secuestro de carbono mediante la formación de la materia orgánica del suelo.<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (FAC, SEA), USDA-NRCS, USDA-APHIS, Distritos de Conservación. | DA | $400,000 (5 años) | DAPR-FIDA; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Largo plazo (12 años, recurrente) | **R:** Cuantificar el secuestro de carbono en los suelos.<br><br>**M:** Aumento en el contenido de carbono en suelos, en predios indicadores.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>**R:** Desarrollo de herramientas para cuantificar la biodiversidad en las fincas.<br><br>**M:** Uso y aplicación de herramientas para cuantificar la biodiversidad.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **4.** Fomentar prácticas que mejoren la conservación de los suelos, recursos de agua y la biodiversidad, y que aumenten el secuestro de carbono en los suelos.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NRCS / USDA-APHIS. | | $30 millones (5 años) | DAPR | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Agricultores emplean prácticas de conservación.<br><br>**M:** Número de agricultores que emplean mejores prácticas de manejo y prácticas de conservación y en cuáles sistemas de producción se emplean.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

## C. Infraestructura: fortalecer y mejorar la infraestructura para hacer los sistemas agrícolas más resilientes al cambio climático.

### COA C.1. Modernizar y reparar los sistemas de riego y de drenaje y crear los que sean necesarios para mejorar la resiliencia y adaptación de la agricultura.[12]

**Mejores prácticas:**

- Facilitar el acceso a crédito y tecnología para usar bombas de agua superficial y subterránea con alta eficiencia energética, preferiblemente impulsadas por energía renovable: *Sustainable Energy for pumping and irrigation*. https://energypedia.info/wiki/Sustainable_Energy_for_Pumping_and_Irrigation
- Fomentar el uso de charcas y sistemas de captación de agua para el uso de agua de riego agrícola: *Sustainable Energy for pumping and irrigation*. https://energypedia.info/wiki/Sustainable_Energy_for_Pumping_and_Irrigation
- Facilitar la tecnología y los recursos técnicos para mantener y reparar sistemas de riego y drenaje existentes y crear nuevos donde sea necesario. Ejemplo de propuestas para reparación de infraestructura de riego: https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2021/09/Motion-to-Submit-Second-Group-of-Generation-Projects-Initial-SOWS-NEPR-MI-2021-0002.pdf
- Preservar los sistemas existentes de riego y drenaje en tierras agrícolas y no para usos no designados de carácter urbano o industrial.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**C.1.2** Mejorar resiliencia de los agricultores al cambio climático.<br><br>**C.1.3** Hacer el mejor uso consuntivo del agua agrícola de riego. | **1.** Realizar investigación conducente a identificar sistemas de bombeo con alta eficiencia energética.<br><br>**2.** Realizar investigación a fin de identificar estrategias para mejorar sistemas de drenaje.<br><br>Colaborador potencial: UPR-RUM (EEA). | DA | $500,000 (5 años) | Gobierno de Puerto Rico; DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Inventariar la distribución espacial de áreas con infraestructura de riego y drenaje<br><br>**M:** Identificación geográfica de los sistemas de riego y drenaje y su estado de funcionamiento.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>[...] |

[12] Este es un tema transversal que incide en el sector agua (sección 7.7). Aunque el COA y las algunas estrategias se asemejan a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br>**C.1.2** Mejorar resiliencia de los agricultores al cambio climático.<br>**C.1.3** Hacer el mejor uso consuntivo del agua agrícola de riego. | **3.** Educar al público sobre la importancia de preservar los sistemas de riego y drenaje para uso agrícola.<br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (FAC, SEA), Distrito de Conservación, USDA-NRCS. | DA | $125,000 (5 años) | Gobierno de Puerto Rico; DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Mediano plazo (recurrente) | [...]<br>**R:** Aumentar el número de agricultores que tienen sistemas de riego y drenaje y registro de consumo de agua<br>**M:** Número de agricultores que tienen sistemas de riego y drenaje y registro del consumo del agua de riego.<br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |
| | **4.** Inventario y avalúo de localización y estado de canales de riego, embalses de almacenamiento de agua y sistemas de drenaje. | | $500,000 (3-años) | DAPR | Mediano plazo (recurrente) | |
| | **5.** Reparación de los canales de riego, embalses de almacenamiento de agua y sistemas de drenaje que así lo merezcan. | | Indeterminable | | | |
| | **6.** Diseño y construcción de sistemas nuevos de canales de riego y sistemas de drenaje.<br>Colaboradores potenciales: Distrito de Conservación, USDA-NRCS. | | Indeterminable | | | |

## COA C.2. Propiciar e incentivar el uso de maquinaria y equipo tecnológico agrícola moderno y energéticamente eficiente.

**Mejores prácticas:**

- Facilitar recursos para la limpieza de terrenos agrícolas en barbecho reduciendo el impacto negativo sobre los suelos y promoviendo la vegetación voluntaria existente: M. Sofiyuddin *et al.,* (2021). *"Sustainable land preparation for farmer-managed lowland agriculture in Indonesia". Forest Policy and Economics, 130*, 102534. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934121001404
- Propiciar e incentivar la instalación y uso de sistemas de energía renovable o alternativa para uso y consumo propio en las fincas agrícolas: *USDA-Rural Development. Renewable Energy for America Program*. https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2021/09/Motion-to-Submit-Second-Group-of-Generation-Projects-Initial-SOWS-NEPR-MI-2021-0002.pdf
- Propiciar e incentivar el uso de maquinaria de alta tecnología para facilitar la cosecha de productos: F. Santinato *et al.,* (2016). *"Mechanical harvesting of coffee in high slope". Rev. Caatinga, 29*(3). https://www.scielo.br/j/rcaat/a/X89DGy7F49sWYjFpZ6tyDbf/
- Lograr mejoría en el manejo poscosecha incluyendo el empaque de productos para reducir el desperdicio y los contaminantes.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**C.2.2** Mejorar la eficiencia energética de las actividades en las fincas incluyendo la transición al consumo de energía de fuentes renovables o alternativas.<br><br>**C.2.3** Incorporar nuevas tecnologías de ahorro energético.<br><br>**C.2.4** Reducir las emisiones de GEI (principalmente $CO_2$) | **1.** Promoción de las prácticas de agricultura inteligente (*Smart Agriculture*).<br><br>Colaboradores potenciales: UPR-RUM (EEA, SEA, FAC). | DA; Departamento de Desarrollo Económico y Comercio (DDEC) | $375,000 (5 años) | Gobierno de Puerto Rico, DAPR; USDA-NIFA; USDA-NRCS | Largo plazo (10 años, recurrente) | **R:** Aumentar el número de agricultores que emplean prácticas de agricultura inteligente (*Climate-Smart Agriculture*).<br><br>**M:** Número de agricultores que emplean prácticas de agricultura inteligente (*Climate-Smart Agriculture*).<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>[...] |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**C.2.2** Mejorar la eficiencia energética de las actividades en las fincas, incluyendo la transición al consumo de energía de fuentes renovables o alternativas.<br><br>**C.2.3** Incorporar nuevas tecnologías de ahorro energético.<br><br>**C.2.4** Reducir las emisiones de GEI (principalmente, $CO_2$) | **2.** Revisar el programa para la limpieza de terrenos en barbecho.<br><br>**3.** Crear un programa para la instalación de sistemas de energía renovable o alternativa en las fincas.<br><br>**4.** Facilitar el acceso a tecnología de cosechar automatizada tal como la del café.<br><br>**5.** Mejorar la tecnología para el manejo poscosecha (almacenes).<br><br>**6.** Mejorar el acceso a las instalaciones de procesamiento de productos.<br><br>**7.** Facilitar los recursos para mejorar el manejo poscosecha y la adaptación de la tecnología para el empaque.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-*Farm Service Agency*, USDA-*Rural Utilities Service.* | DA y DDEC | Indeterminable | Indeterminado | Mediano plazo (recurrente) | [...]<br><br>**R:** Sistemas de uso de maquinaria y equipo moderno mediante alquiler o arrendamiento a bajo costo.<br><br>**M:** Número de agricultores con maquinaria y equipo moderno y energéticamente eficiente.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

**COA C.3. Preservar las tierras designadas para uso agrícola evitando su transformación a usos no designados e incompatibles con la producción agrícola, y facilitar el acceso y uso de las tierras para uso agrícola.**

**Mejores prácticas:**

- Fomentar la delineación de las reservas agrícolas que no han sido demarcadas geográficamente: Gould *et al.,* (2017). *Land Use, Conservation, Forestry, and Agriculture in Puerto Rico. Forests.* https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/ja_iitf_2017_Gould001.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.3.1** Aumentar la producción para satisfacer la demanda de productos agrícolas.<br><br>**C.3.2** Mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático.<br><br>**C.3.3** Fortalecer (y de ser necesario crear) las leyes que protegen los terrenos para uso agrícola y no para otros usos.<br><br>[...] | **1.** Preservar las áreas designadas como suelo rústico especialmente protegido para uso agrícola y no para usos no designados de carácter urbano o industrial. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. Se deberán proveer recomendaciones puntuales a la JP.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NASS, USDA-*Farm Service*, UPRM-RUM-Colegio de Ciencias Agrícolas. | DA, OGPe, JP y DRNA | $600,000 (3 años) | DAPR | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Aumento en el área agrícola y en cultivos.<br><br>**M:** Inventario quinquenal del área agrícola, cultivos, pasturas (mejoradas y no mejoradas), bosques y arbustos.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [...]<br><br>**C.3.4** Facilitar que surjan nuevos agricultores y empresarios agrícolas. | **1.** Preservar las áreas designadas como suelo rústico especialmente protegido para uso agrícola y no para usos no designados de carácter urbano o industrial. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. Se deberán proveer recomendaciones puntuales a la JP.<br><br>Colaboradores potenciales: USDA-NASS, USDA-*Farm Service*, UPRM-RUM-Colegio de Ciencias Agrícolas. | DA, OGPe, JP y DRNA | $600,000 (3 años) | DAPR | Mediano plazo (recurrente) | **R:** Aumento en el área agrícola y en cultivos.<br><br>**M:** Inventario de lotes de áreas con designación agrícola en el CRIM que han cambiado a uso no agrícola de carácter urbano, suburbano o industrial.<br><br>**M:** Presupuesto designado de acuerdo al costo de implantación estimado.<br><br>**R:** Aumento en el número de agricultores que han logrado acceder al uso de mayor número de fincas y áreas agrícolas.<br><br>**M:** Registro del número de agricultores con necesidades de acceso a tierras y que han logrado acceso a tierras. |

**Tabla 7.7.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **agua**.

### A. Recuperar y conservar en buen estado las aguas superficiales, los acuíferos y (las) aguas subterráneas para períodos de sequía y efectos de cambio climático.

**COA A.1: Desarrollar políticas públicas, programas y proyectos para proteger y conservar los cuerpos de agua superficiales y para recuperar la calidad del agua de estos recursos.**

**Mejores prácticas:**

- Países Bajos: ha invertido en infraestructuras para controlar las inundaciones y ha desarrollado tecnologías para proteger los deltas y las zonas costeras. https://pulitzercenter.org/stories/how-dutch-are-building-coastal-protection-less-natures-help
- Singapur: ha adoptado un enfoque integral para la gestión del agua que incluye recolectar y tratar las aguas residuales para reutilizarlas en la industria y la agricultura. También ha desarrollado tecnologías innovadoras para desalinizar el agua de mar y purificar el agua subterránea. https://iwa-network.org/city/singapore/
- Israel: ha desarrollado tecnologías avanzadas para desalinizar el agua de mar, tratar las aguas residuales y gestionar la irrigación en la agricultura. https://news.northwestern.edu/stories/2022/10/global-engineering-trek-israel-water/
- Australia: ha establecido políticas para la gestión sostenible del agua, como invertir en infraestructuras para la gestión de las sequías y para promover la eficiencia en el uso del agua en la industria y la agricultura. https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-how-australia-is-securing-its-water-future

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Asegurar un abasto de agua de fuentes superficiales suficiente para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. [...] | **1.** Controlar las extracciones de agua de quebradas, ríos y embalses para que no excedan el rendimiento seguro. | DRNA | Indeterminable | EPA, DOI, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Programa de control de las extracciones de agua para mantener el rendimiento seguro.<br>**M:** Control de las extracciones al 30 % a corto plazo y al 60 % a mediano plazo. Programa de control de las extracciones en operación completa a largo plazo. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Asegurar un abasto de agua de fuentes superficiales suficiente para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Considerar las necesidades de agua del sistema energético de la isla que se usa tanto para la producción energética en las calderas como para los sistemas de control de emisiones. | **2.** Ampliar la red de monitoreo del flujo de ríos y la red de pluviómetros, y asignar fondos para su mantenimiento. | DRNA | Indeterminable | DRNA, USGS, AAA y AEE | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Expansión de la red de monitoreo del flujo de ríos y pluviómetros completada.<br>**M:** El 30 % de la expansión realizada a corto plazo y el 60 % a mediano plazo. Expansión completada a largo plazo. |
| | **3.** Establecer un programa de reforestación masiva aguas arriba de los embalses para controlar la erosión y sedimentación. Se le dará prioridad a los embalses que proveen agua a la AAA. | DRNA | Indeterminable | EPA, DOI, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Programa de reforestación masiva aguas arriba completado.<br>**M:** El 30 % del programa desarrollado a corto plazo y el 60 % a mediano plazo. Programa completado a largo plazo. |
| | **4.** Establecer un programa de créditos contributivos para crear servidumbres de conservación en terrenos privados adyacentes a los cuerpos de agua. | DH | Indeterminable | DH | Corto y mediano plazo | **R:** Programa de créditos contributivos establecido.<br>**M:** El 50 % del programa desarrollado a corto plazo. Programa completado a mediano plazo. |
| | **5.** Proveer tratamiento a las aguas usadas de 50 % de la población, que carece del servicio de alcantarillado sanitario. Esta acción requerirá el uso de tecnología apropiada para las comunidades aisladas. | DV | $12,000 por vivienda | DOI, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Tratamiento de aguas usadas para comunidades aisladas completado y en operación.<br>**M:** El 30 % de las comunidades cuenta con el servicio a corto plazo, el 60 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Asegurar un abasto de agua de fuentes superficiales suficiente para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Considerar las necesidades de agua del sistema energético de la isla que se usa tanto para la producción energética en las calderas como para los sistemas de control de emisiones. | **6.** La AAA deberá aplicar procedimientos avanzados en las plantas de tratamiento de aguas usadas que descargan en las quebradas y los ríos para compensar la merma en la capacidad asimilativa de estos cuerpos de agua debido al cambio climático. | AAA | Indeterminable | EPA, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Diseño e implantación del plan de tratamiento avanzado de las aguas usadas que descargan en las quebradas y los ríos.<br>**M:** Plan implantado en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **7.** Reubicar tierra adentro las plantas de tratamiento de aguas usadas que se ubiquen cerca de la costa, en terrenos vulnerables al aumento del nivel del mar, las marejadas ciclónicas o las marejadas de frentes de frío.[4] | AAA | Indeterminable | FEMA y AAA | Corto, mediano y largo plazo (25 años) | **R:** Plan de reubicación de las plantas de tratamiento que estén cerca de la costa completado e implantado.<br>**M:** Reubicación completada en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **8.** Forjar alianzas entre los municipios que comparten una cuenca hidrográfica con el propósito de coordinar y optimizar las medidas para proteger los cuerpos de agua de la cuenca. | DRNA | Indeterminable | EPA, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Alianzas hidrográficas entre municipios establecidas.<br>**M:** Medidas de protección de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas logradas en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |

[4] Este es un tema transversal que incide en los sectores de infraestructura (sección 7.2) y de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Asegurar un abasto de agua de fuentes superficiales suficiente para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Considerar las necesidades de agua del sistema energético de la isla que se usa tanto para la producción energética en las calderas como para los sistemas de control de emisiones. | **9.** Realizar un mejor manejo de las carreteras sin pavimentar, especialmente en la zona rural. | Municipios | Indeterminable | DOT, FEMA y DTOP | Corto y mediano plazo | **R:** Desarrollar e implantar un plan para mejorar el manejo de las carreteras sin pavimentar.<br>**M:** Plan desarrollado e implantado al 50 % a corto plazo, y a 100 % a mediano plazo. |
| | **10.** Evaluar la asociación de los terrenos agrícolas, los terrenos expuestos (*barren land*) y las áreas urbanas con el agua de escorrentía y su efecto en la calidad del agua. A partir de los resultados, tomar medidas para controlar la contaminación por aguas de escorrentía. | DRNA | Indeterminable | USDA, HUD, DOT y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Plan desarrollado e implantado para disminuir la escorrentía que proviene de los terrenos expuestos y su impacto en la calidad del agua.<br>**M:** Plan completado e implantado a 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **11.** Detectar y eliminar las descargas de aguas usadas en los sistemas de alcantarillado pluvial:<br>**a.** sistemas municipales,<br>**b.** sistemas de control de inundaciones,<br>**c.** sistemas pluviales de carreteras estatales. | Cada municipio, DRNA y DTOP | Indeterminable | DOT y FEMA | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Programa de detección y eliminación de descargas de aguas usadas establecido y en operación.<br>**M:** Detección y eliminación de las descargas de aguas usadas en los sistemas de alcantarillado pluvial en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y en plena operación a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Asegurar un abasto de agua de fuentes superficiales suficiente para atender las necesidades de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Considerar las necesidades de agua del sistema energético de la isla que se usa tanto para la producción energética en las calderas como para los sistemas de control de emisiones. | **12.** Eliminar las descargas en el alcantarillado sanitario del agua de lluvia de las viviendas y los edificios. | AAA | Indeterminable | HUD y DV | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Programa de eliminación de descargas del agua de lluvia de las viviendas y los edificios en el alcantarillado sanitario completado y en operación.<br>**M:** Eliminación de las descargas en el alcantarillado sanitario del agua de lluvia de las viviendas y los edificios en 30 % a corto plazo y 60 % a mediano plazo. Programa en plena operación a largo plazo. |
| | **13.** Detectar y eliminar las conexiones entre el alcantarillado sanitario y el alcantarillado pluvial:<br>**a.** sistemas municipales,<br>**b.** sistemas de control de inundaciones,<br>**c.** sistemas pluviales de carreteras estatales. | Cada municipio, DRNA y DTOP | Indeterminable | AAA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Programa de detección y eliminación de las interconexiones de los alcantarillados sanitario y pluvial completado y en operación.<br>**M:** Detección y eliminación de las conexiones entre el alcantarillado sanitario y el alcantarillado pluvial en 30 % a corto plazo y en 60 % a mediano plazo. Programa en plena operación a largo plazo. |

**COA A.2: Desarrollar políticas públicas, programas y proyectos para proteger y conservar los acuíferos y restablecer la calidad del agua subterránea.**

**Mejores prácticas:**

- Dinamarca: el país ha adoptado un enfoque integral para proteger y conservar los acuíferos que establece regulaciones estrictas para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, así como programas de monitoreo y remediación para garantizar la calidad del agua. https://iwa-network.org/climate-change-and-water-worldwaterday/
- EE. UU.: la EPA y otras agencias federales han desarrollado políticas y programas para proteger y restaurar los acuíferos, que incluyen establecer regulaciones para evitar la contaminación de las aguas subterráneas y programas de monitoreo y remediación. https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-12/documents/cr_groundwater_systems_fact_sheet_2019_update.pdf
- Australia: la nación ha establecido políticas y programas de gestión del agua subterránea para proteger y restaurar sus acuíferos, que incluyen la regulación del uso del agua subterránea, la adopción de prácticas de conservación y la inversión en tecnologías de tratamiento. https://www.wa.gov.au/service/natural-resources/water-resources/rebalancing-our-groundwater
- Alemania: el país ha establecido una serie de regulaciones y programas para proteger los acuíferos y recuperar la calidad del agua subterránea con medidas que incluyen establecer zonas de protección, prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías de tratamiento avanzadas. https://www.oecd.org/env/resources/Germany.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Mejorar el abasto de las aguas subterráneas para contribuir a atender la demanda de agua de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. | **1.** Establecer barreras hidráulicas con la inyección de aguas usadas tratadas cerca de la costa para evitar o reducir la infiltración del agua salada a los acuíferos. | AAA | Indeterminable | FEMA y USDA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Se construyen las barreras hidráulicas necesarias en las áreas costeras de mayor vulnerabilidad al aumento del nivel del mar.<br>**M:** 30 % de las barreras construidas a corto plazo; 60 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |
| | **2.** Reabastecer los acuíferos con aguas usadas tratadas apropiadamente para compensar la merma en el abastecimiento debido al cambio climático. | AAA | Indeterminable | FEMA y AAA | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Programa de reabastecimiento de los acuíferos con aguas usadas apropiadamente tratadas completado y en operación.<br>**M:** Reabastecimiento de los acuíferos con aguas usadas tratadas en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y en plena operación a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Mejorar el abasto de las aguas subterráneas para contribuir a atender la demanda de agua de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. | **3.** Controlar las extracciones de las aguas subterráneas existentes para evitar que se exceda el rendimiento seguro de los acuíferos. | DRNA | Indeterminable | USDA, NRCS y DRNA | Corto y mediano plazo | **R:** Programa de control de extracciones de las aguas subterráneas completado y en operación.<br>**M:** Control de las extracciones de las aguas subterráneas existentes en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y en plena operación a largo plazo. |
| | **4.** Detectar y eliminar los pozos clandestinos para evitar que la extracción del agua subterránea exceda el rendimiento seguro y propicie un aumento en la infiltración del agua salada. | DRNA | Indeterminable | EPA, USDA y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Programa de detección y eliminación de pozos clandestinos completado y en operación.<br>**M:** 30 % a corto plazo detectado y eliminado; 60 % a mediano plazo y programa en plena operación a largo plazo. |
| | **5.** Construir en terrenos agrícolas charcas para recoger el agua de lluvia y canalizar su infiltración a los acuíferos. | DA | Indeterminable | USDA y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Cantidad necesaria de charcas construidas en terrenos agrícolas.<br>**M:** 30 % de las charcas construidas a corto plazo, 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Mejorar el abasto de las aguas subterráneas para contribuir a atender la demanda de agua de la sociedad puertorriqueña en estos momentos y en el futuro, cuando se incrementen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. | **6.** Detectar y eliminar las descargas de aguas usadas en los sumideros. | DRNA | Indeterminable | DRNA y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Programa de detección y eliminación de las descargas de aguas usadas en los sumideros completado y en operación.<br>**M:** Detección y eliminación de las descargas de aguas usadas en los sumideros en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **7.** Cierre de los vertederos ubicados en la zona de karso. | DRNA | Indeterminable | EPA, NRCS, USDA y DRNA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Cierre de todos los vertederos ubicados en la zona del karso.<br>**M:** 30 % de los vertederos cerrados a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |

## COA A.3: Desarrollar medidas para mantener el suministro del agua durante las sequías.

**Mejores prácticas:**

- Australia: el país ha desarrollado planes y políticas de gestión de sequías a nivel nacional, que incluyen medidas como la construcción de infraestructura para captar y almacenar agua, usar tecnologías de desalinización y promover prácticas de uso eficiente del agua en la agricultura y el sector doméstico. https://www.droughtmanagement.info/literature/GovAustr_drought_in_australia_2012.pdf
- Israel: el Estado ha puesto en marcha diversas medidas para mantener el suministro durante las sequías, como usar tecnologías avanzadas de riego, reutilizar las aguas residuales tratadas y adoptar técnicas de manejo del agua a nivel agrícola. https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd16/LC/presentations/zaide.pdf
- España: la nación ha enfrentado sequías recurrentes y ha implantado planes de gestión de sequías para diferentes regiones, los cuales incluyen promover la eficiencia en el uso del agua, usar tecnologías de riego más eficientes y la gestión sostenible de los recursos hídricos. https://drought.emergency.copernicus.eu/documents/EDO_User_Meeting/2017/5_Fraile_The%20Spanish%20System%20for%20Drought%20Monitoring.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar y establecer medidas y programas que promuevan y mantengan el buen uso del agua durante los eventos de sequía en Puerto Rico. | **1.** Como medida a corto plazo, dragar los embalses estratégicos:<br>**a.** Carraízo,<br>**b.** Dos Bocas,<br>**c.** Guayabal. | **a.** AAA<br>**b.** AEE<br>**c.** AEE | **a.** $100 millones<br>**b.** $400 millones<br>**c.** $10 millones | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Dragado de los embalses estratégicos completado.<br>**M:** 30 % de los embalses estratégicos dragados a corto plazo, 60 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar y establecer medidas y programas que promuevan y mantengan el buen uso del agua durante los eventos de sequía en Puerto Rico. | **2.** Establecer y llevar a cabo un programa de dragado de mantenimiento en los embalses que suplen agua a la AAA:<br>**a.** Cerrillos,<br>**b.** Dos Bocas,<br>**c.** Caonillas,<br>**d.** Guayabal,<br>**e.** Guajataca,<br>**f.** Patillas,<br>**g.** Carraízo,<br>**h.** La Plata,<br>**i.** Cidral,<br>**j.** Toa Vaca,<br>**k.** Carite. | **a.** DRNA<br>**b.** AEE<br>**c.** AEE<br>**d.** AEE<br>**e.** AEE<br>**f.** AEE<br>**g.** AAA<br>**h.** AAA<br>**i.** AAA<br>**j.** AAA<br>**k.** AAA | Indeterminable | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (25 años) | **R:** Programa de dragado creado y en operación<br>**M:** 30 % de los embalses dragados a corto plazo, 60 % a mediano plazo y 100 % de los embalses a largo plazo. |
| | **3.** Remover los jacintos de agua y otras malezas acuáticas de los embalses que suplen agua a la AAA. | AAA | Indeterminable | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto y mediano plazo | **R:** Remoción de la maleza acuática completada y un programa de mantenimiento en operación.<br>**M:** Remoción de 50 % de la maleza acuática a corto plazo; remoción de 100 % a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar y establecer medidas y programas que promuevan y mantengan el buen uso del agua durante los eventos de sequía en Puerto Rico. | **4.** Enmendar la Orden Administrativa de la AAA para que se impongan multas por el despilfarro y uso indebido del agua tan pronto el Monitor de Sequía de Estados Unidos informe que existe una condición de sequía severa en el área de captación de un embalse o en tomas de agua en ríos. En la actualidad, la Orden Administrativa autoriza multas cuando un programa de racionamiento de agua entra en vigor. | AAA | Indeterminable | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Orden administrativa enmendada e implantada.<br>**M:** Reducción de la pérdida de agua de 60 % a 45 % a corto plazo; de 45 % a 30 % a mediano plazo; de 30 % a 17 % a largo plazo. |
| | **5.** Estudiar la alternativa de interconectar los embalses y canales de riego agrícolas. | AAA | Indeterminable | USDA y Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) | Mediano plazo | **R:** Estudio sobre la viabilidad de interconectar los embalses con los canales de riego agrícola completado.<br>**M:** Estudio completado a mediano plazo. |
| | **6.** Fomentar la instalación de cisternas (aljibes) en todas las viviendas y estructuras nuevas y en las existentes. | DRNA y DV | Entre $3,000 y $10,000 en promedio por cisterna | HUD, FEMA y USDA | Corto plazo y mediano plazo | **R:** Campaña educativa completada.<br>**M:** 50 % de las viviendas con cisternas instaladas a corto plazo y 100 % de las viviendas con cisternas a mediano plazo. |

## B. Establecer mejoras de ahorro, calidad y consumo eficiente del agua.

### COA B.1: Establecer un programa para conservar el agua en las viviendas e industrias, los comercios, hoteles, hospitales y edificios de oficinas.

**Mejores prácticas:**

- EE. UU.: estados y ciudades han establecido programas de conservación del agua en diversos sectores. Estos programas incluyen incentivos financieros para instalar dispositivos de bajo consumo de agua, regulaciones de eficiencia hídrica en la construcción y la promoción de prácticas de riego eficiente. https://19january2021snapshot.epa.gov/greeningepa/water-conservation-epa_.html
- Singapur: la isla nación ha desarrollado un programa integral de conservación del agua en diversos sectores, incluyendo las viviendas, los comercios, hoteles y hospitales. Esto ha sido posible mediante el uso de tecnologías avanzadas de reutilización del agua, sistemas de recolección del agua de lluvia y programas de concienciación pública. https://www.pub.gov.sg/public/waterloop/water-conservation
- Alemania: el país ha establecido programas y políticas para promover la conservación del agua en edificios residenciales y comerciales. Estos programas incluyen la instalación de tecnologías de ahorro del agua, sistemas de medición y monitoreo del consumo y la promoción de prácticas de gestión del agua sostenibles. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaesser/nationale_wasserstrategie_2023_en_bf.pdf
- Israel: dado su contexto de escasez de agua, ha desarrollado programas y tecnologías avanzadas para conservar el agua en diversos sectores. Esto incluye utilizar sistemas de riego eficiente, promover tecnologías de tratamiento y reutilización del agua y establecer políticas de conservación del agua. https://www.oecd.org/climate-action/ipac/practices/israel-s-sustainable-water-management-plans-d81db5f5/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Reducir la demanda del agua en Puerto Rico.[5] (Véase también el objetivo F.1.1.) | **1.** Requerir por ley enseres y equipos de alta eficiencia en el uso del agua en toda nueva construcción de viviendas, hoteles, hospitales, industrias, centros comerciales, comercios y edificios de oficina. | Asamblea Legislativa | Indeterminable | EPA | Corto y mediano plazo | **R:** Reducción de 20 % en la demanda del agua para 2050.<br>**M:** Reducción de 75 % anual. |
| | **2.** Establecer por ley un programa de subsidios para el remplazo de enseres y equipos en estructuras existentes por enseres y equipos de alta eficiencia en el uso del agua. | Asamblea Legislativa | Indeterminable | EPA y FEMA | Corto y mediano plazo | **R:** Ley de subsidios en vigor.<br>**M:** Programa desarrollado a corto plazo y remplazo de enseres y equipos en estructuras existentes por enseres y equipos de alta eficiencia en el uso del agua a mediano plazo. |

[5] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructura (sección 7.2). Aunque el objetivo y las estrategias se asemejan a otros incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## COA B.2: Establecer medidas para mejorar la calidad del agua potable.

**Mejores prácticas:**

- Canadá: ha establecido regulaciones y estándares estrictos para el suministro del agua potable. El país tiene un sistema de monitoreo riguroso y trabaja en colaboración con las provincias y los territorios para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad. Esto ha llevado a una mejora significativa en la calidad del agua potable en todo el país. https://www160.statcan.gc.ca/environment-environnement/water-quality-qualite-eau-eng.htm
- Alemania: ha desarrollado medidas exitosas para garantizar la calidad del agua potable. El país tiene uno de los sistemas de suministro de agua más avanzados y cuenta con estrictas regulaciones y controles de calidad. Además, Alemania invierte en tecnologías de tratamiento de vanguardia y en la protección de las fuentes de agua para garantizar una alta calidad del agua potable. https://borgenproject.org/water-quality-in-germany/
- Nueva Zelanda: ha logrado mejoras significativas en la calidad del agua potable mediante la aplicación de regulaciones y estándares estrictos. El país ha invertido en infraestructura de tratamiento de agua y en programas de monitoreo y control de la calidad del agua en todo el territorio. https://niwa.co.nz/our-science/freshwater/research-projects/all/restoration-of-new-zealand-streams/ways-to-improve-stream-water-quality
- Singapur: ha establecido un enfoque innovador y exitoso para garantizar la calidad del agua potable. El país ha desarrollado tecnologías avanzadas de tratamiento de agua, incluyendo desalinizar y reutilizar el agua, lo que ha permitido a Singapur tener un suministro de agua potable seguro y de alta calidad. https://www.nea.gov.sg/our-services/pollution-control/water-quality/keeping-our-water-clean

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Desarrollar programas que permitan mejorar la calidad del agua potable que se consume en Puerto Rico. | **1.** Proveer plantas de generación de energía eléctrica a todas las plantas potabilizadoras para evitar la interrupción del suministro de agua durante apagones. | AAA | Indeterminable | FEMA y DOE | Corto y mediano plazo | **R:** Programa de mejoras a la calidad del agua potable completado y en operación.<br>**M:** 75 % de las plantas potabilizadoras cuenta con una planta de generación de energía eléctrica de emergencia y 100 % de las plantas potabilizadoras, con plantas de emergencia a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Desarrollar programas que permitan mejorar la calidad del agua potable que se consume en Puerto Rico. | **2.** Proveer plantas de generación de energía eléctrica a las estaciones principales de bombeo de agua potable para asegurar el suministro de agua durante apagones. | AAA | Indeterminable | FEMA y DOE | Corto y mediano plazo | **R:** Plantas de generación de energía instaladas en todas las estaciones de bombas principales.<br>**M:** 75 % de las estaciones principales de bombeo de suministro de agua cuenta con plantas de generación de energía para apoyo en apagones a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |
| | **3.** Establecer reservas estratégicas de agua para continuar el suministro de agua cuando se registran niveles altísimos de turbiedad que ponen en riesgo la planta potabilizadora y provocan la interrupción en el suministro de agua. | AAA | Indeterminable | FEMA y USDA | Corto y mediano plazo | **R:** Reservas de agua necesarias para mantener el suministro sin interrupción completado y en operación.<br>**M:** 50 % de las plantas potabilizadoras con reservas estratégicas de agua a corto plazo y 100 % de las plantas a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Desarrollar programas que permitan mejorar la calidad del agua potable que se consume en Puerto Rico. | **4.** Alertar a la ciudadanía para que hierva el agua por tres minutos una vez que se restablezca el servicio de agua luego de una interrupción en el suministro. | AAA | Indeterminable | FEMA y EPA | Corto y mediano plazo | **R:** Programa de alertas a la ciudadanía para hervir el agua luego de una interrupción del suministro completado y en operación.<br>**M:** 100 % de la ciudadanía informada por medio del programa a mediano plazo. Menor incidencia de enfermedades gastrointestinales asociadas a la ingesta de agua sin purificar.[6] |
| | **5.** Establecer sistemas de aireación en embalses donde se necesite para mejorar la calidad del abasto de agua en las plantas potabilizadoras. Este sistema se ha utilizado con mucho éxito en el embalse Toa Vaca. | AAA | Indeterminable | FEMA y EPA | Corto y mediano plazo | **R:** Sistemas de aireación en operación en los embalses que aplique.<br>**M:** Mejorar la calidad del abasto de agua en las plantas potabilizadoras.<br>**M:** Sistemas instalados en 50 % de los embalses donde sea necesario a corto plazo y 100 % a mediano plazo.<br>**M:** Mejoramiento de la calidad del agua en cumplimiento con los estándares federales y estatales. |

[6] Véase más información en *Advertencia de que se debe hervir el agua*, emitida por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades: https://www.cdc.gov/healthywater/emergency/es/drinking/boil-water-advisory-es.html

## C. Establecer y desarrollar guías a ser utilizadas para evaluar sistemas de recolección y utilización de agua de lluvia en toda nueva construcción de edificios y viviendas.[7]

### COA C.1: Desarrollar una guía para la construcción de sistemas de recolección y utilización del agua de lluvia en las viviendas y los edificios nuevos.

**Mejores prácticas:**

- Brasil: la nación tiene leyes que requieren que los edificios nuevos en algunas áreas utilicen sistemas de recolección y uso de agua de lluvia. El agua de lluvia recolectada se utiliza para regar los jardines y para lavar vehículos. https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/471
- EE. UU.: varias ciudades y estados tienen regulaciones que requieren recolectar el agua de lluvia en los edificios nuevos. El agua de lluvia recolectada se utiliza para el riego y para interiores, como en los baños y las lavadoras. https://www.energy.gov/femp/rainwater-harvesting-regulations-map
- Singapur: la isla ha establecido una política para recolectar el agua de lluvia en todos los edificios nuevos y en algunos edificios existentes. El agua de lluvia recolectada se utiliza para el riego y para interiores, como en los baños y las lavadoras. https://bwsmartcities.businessworld.in/article/Harvesting-Every-Drop-The-Singapore-Water-Story/16-03-2017-114513/
- India: el gobierno indio ha establecido una política para recolectar el agua de lluvia en las construcciones de edificios y en las renovaciones de edificios existentes. El agua de lluvia recolectada se utiliza para el riego y para interiores, como en los baños y las lavadoras. https://www.nationalgeographic.com/environment/article/lessons-from-the-field-rainwater-harvesting-in-hiware-bazaar-india

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Asegurar la instalación de los sistemas apropiados y eficientes para recuperar y utilizar el agua de lluvia en los edificios y las viviendas, y que estos sistemas puedan mantenerse sin inversiones significativas de fondos. | **1.** Requerir por ley que la AAA desarrolle, implante y fiscalice esta guía. | Asamblea Legislativa | Indeterminable | FEMA y USDA | Corto y mediano plazo | **R:** Ley desarrollada e implantada.<br>**R:** Sistemas de recuperación y utilización del agua de lluvia instalados en toda vivienda y edificios de nueva construcción.<br>**M:** Ley en efecto a corto plazo y su implantación a mediano plazo. |
| | **2.** Requerir por ley que toda construcción nueva instale un sistema de recuperación y utilización del agua de lluvia. | Asamblea Legislativa | Indeterminable | FEMA y HUD | Corto y mediano plazo | **R:** Ley aprobada.<br>**M:** Desarrollo de la ley a corto plazo y ley en efecto a mediano plazo. |

[7] La Ley 33-2019, artículo 9 inciso g (3), dispuso que esta medida se tomara “a partir del año 2020”.

## D. Establecer y proteger áreas de captación de agua de lluvia en todo Puerto Rico.

### COA D.1: Identificar las áreas de captación de lluvia y desarrollar medidas para garantizar este uso esencial de dichos terrenos.

**Mejores prácticas:**

- El Colegio de Químicos recomienda cosechar el agua de lluvia. https://www.elvocero.com/actualidad/otros/el-colegio-de-qu-micos-recomienda-que-se-coseche-el-agua-de-lluvia/article_2fa0471e-fe65-11ec-953a-63044f8c91ed.html
- Cosecha de aguas de lluvia. https://pdfslide.net/documents/fdo-abrua-cosecha-de-aguas-de-lluvia-cosechadeaguasdelluviacomopartedelasestrategiasdeinfraestructuraverde.html?page=1
- Cosecha de aguas de lluvia y su potencial en edificios verdes. https://www.corrienteverde.com/conservacion/cosecha-de-aguas-de-lluvia-y-su-potencial-en-edificios-verdes

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Ampliar la captación y utilización de la lluvia en Puerto Rico. | **1.** Identificar los terrenos donde se pueda captar una gran cantidad de lluvia. | DRNA | Indeterminable | EPA, USDA y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Terrenos de gran captación de lluvia identificados.<br>**M:** 30 % de terrenos identificados a nivel isla a corto plazo; 60 % a mediano plazo y completada su identificación a largo plazo. |
| | **2.** Designar estos terrenos como meritorios de protección especial. | DRNA y JP | Indeterminable | EPA, USDA y NRCS | Corto y mediano plazo | **R:** Terrenos donde se pueda captar una gran cantidad de lluvia designados como áreas de protección especial.<br>**M:** 50 % de los terrenos identificados designados a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Ampliar la captación y utilización de la lluvia en Puerto Rico. | **3.** Comprar estos terrenos para protegerlos a perpetuidad. | AAA | Indeterminable | EPA, USDA y BLM | Corto y mediano plazo | **R:** Terrenos protegidos a perpetuidad.<br>**M:** Compra de 50 % de los terrenos a corto plazo y de 100 % a mediano plazo. |
| | **4.** Construir, operar y mantener los sistemas de captación y almacenamiento de la lluvia. | AAA | Indeterminable | EPA, USDA, BLM y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Sistemas de captación y almacenamiento construidos, y en operación y mantenimiento continuo.<br>**M:** 30 % de los sistemas de captación y almacenamiento en funciones y con sus respectivos planes de mantenimiento a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **5.** Establecer un incentivo contributivo para entidades privadas que protejan las áreas de captación de la lluvia. | DH | Indeterminable | EPA y USDA | Corto y mediano plazo | **R:** Áreas de captación de lluvia protegidas por entidades privadas.<br>**M:** Aumento porcentual del incentivo contributivo destinado para proteger las áreas de captación de lluvia. |

## COA D.2: Requerir la captura, el almacenamiento y uso del agua de lluvia en estructuras existentes.

**Mejores prácticas:**

- Australia: El país ha establecido políticas y regulaciones que requieren o fomentan recoger y usar el agua de lluvia en las estructuras existentes, como viviendas y edificios comerciales. http://www.rainwaterharvesting.org/Policy/Legislation_international.htm
- Alemania: En algunas regiones del país se han establecido regulaciones para recoger y usar el agua de lluvia en los edificios existentes, como una medida de conservación del agua y de sostenibilidad. https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/raindrops-falling-my-reservoir-harvesting-rain-germany-and-eu/16781/
- India: En algunas ciudades han promovido regulaciones que requieren instalar sistemas para recoger el agua de lluvia en las estructuras existentes, especialmente en las áreas urbanas con problemas de suministro de agua. https://www.cseindia.org/laws-and-policy--1161#:~:text=Ministry%20of%20Urban%20Development%20and,and%20above%20will%20be%20mandatory
- Brasil: En algunas localidades se han establecido regulaciones y programas que promueven recoger y usar el agua de lluvia en los edificios existentes. https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/471

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.2.1** Reutilizar la superficie del terreno ya construida para aumentar las posibles fuentes de abastecimiento de agua, siempre que existan los equipos adecuados. | **1.** Incentivar a equipar y dotar los techos de los centros comerciales y sus estacionamientos con sistemas de cosecha del agua de lluvia. | DRNA y DDEC | Sistema básico con cisterna de agua no potable, $4 por galón almacenado | EPA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Centros comerciales y sus estacionamientos con sistemas de cosecha de lluvia funcionando.<br>**M:** 30 % o más de los centros comerciales y estacionamientos con cosecha de agua de lluvia en los techos a corto plazo; 60 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |
| | **2.** Equipar y dotar los techos de las escuelas públicas y sus estacionamientos con sistemas de cosecha del agua de lluvia. | DRNA, DE, DTOP y AEP | Sistema básico con cisterna de agua no potable, $4 por galón almacenado | USDA, NRCS, EPA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Escuelas y sus estacionamientos con sistemas de cosecha de agua de lluvia funcionando.<br>**M:** Sistemas instalados en el 30 % de las escuelas a corto plazo; 60 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.2.1** Reutilizar la superficie del terreno ya construida para aumentar las posibles fuentes de abastecimiento de agua, siempre que existan los equipos adecuados. | **3.** Requerir la cosecha del agua de lluvia a toda vivienda unifamiliar nueva. | DV | $1,000 -$3,500 por sistema de cosecha de lluvia | HUD y fondos propios de la entidad responsable | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Toda vivienda nueva tendrá un sistema de cosecha de lluvia.<br>**M:** Cosecha de lluvia en el 30 % de las viviendas unifamiliares nuevas a mediano plazo; 60% a mediano plazo y en el 100 % a largo plazo. |
| | **4.** Prohibir que se imponga un cargo a las personas que cosechen agua de lluvia. | DV | Indeterminable | DV, HUD y fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Cosecha de lluvia libre de gravamen.<br>**M:** 100 % de los lugares que cosechan lluvia libres de impuesto. |
| | **5.** Incentivar a equipar y dotar con sistemas de cosecha de agua de lluvia los techos y otras áreas de infraestructura que apliquen, ya sean públicas, privadas, comerciales o de vivienda. | DRNA y DDEC | Sistema básico con cisterna de agua no potable, $4 por galón almacenado | USDA, NRCS, EPA, HUD (CDGD-DR), DV y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Techos y otras áreas de infraestructura pública, privada y comercial que apliquen con sistemas de cosecha de lluvia.<br>**M:** El 10 % o más de los techos y otras áreas de infraestructura pública, privada y comercial que apliquen con sistemas de cosecha de lluvia a corto plazo; 40 % a mediano plazo y el 100 % a largo plazo. |

## E. Redefinir el reúso de aguas usadas producidas por las plantas de tratamiento de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.

### COA E.1: Desarrollar e implantar estrategias integradas que permitan maximizar el aprovechamiento de las aguas usadas tratadas por la AAA de forma segura y eficiente.

**Mejores prácticas:**

- Singapur: tiene uno de los sistemas de reutilización de agua más avanzados del mundo en donde el agua tratada se utiliza para riego, lavado de vehículos, descarga de inodoros y sistemas de refrigeración de edificios. https://www.voanews.com/a/east-asia-pacific_singapore-turns-sewage-clean-drinkable-water-meeting-40-demand/6209374.html
- México: en algunas ciudades, como la Ciudad de México, se utiliza agua tratada para la recarga de acuíferos, la recuperación de ríos y la irrigación de parques y áreas verdes. https://www.gob.mx/imta/documentos/manejo-de-la-recarga-de-acuiferos-un-enfoque-hacia-latinoamerica#%3A~%3Atext%3DLa%20recarga%20de%20acuíferos%20se%2Csubsuelo%20para%20su%20posterior%20uso%26text%3Do%20para%20remediar%20la%20condición%2Co%20impedir%20la%20intrusión%20salina
- Australia: la reutilización de agua se ha convertido en una práctica común en muchas regiones con escasez líquida. El agua tratada se utiliza para el riego, la recarga de acuíferos y la recuperación de ríos y lagos. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445320300064
- España: en algunas regiones, como en la isla de Tenerife, se reutiliza el agua tratada para la agricultura y para el riego de parques y jardines. https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/113/articulo1/reutilizacion.htm

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Aprovechar al máximo los 228 millones de galones diarios (MGD) de aguas usadas tratadas que produce la AAA. | **1.** Reusar todas las aguas usadas tratadas de la AAA. | AAA | Indeterminable | AAA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo | **R:** Todas las aguas usadas tratadas por la AAA se reúsan.<br>**M:** Reúso de 30 % de todas las aguas usadas a corto plazo, 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **2.** Requerir por ley que se rieguen los campos de golf con aguas usadas tratadas. | DRNA y AAA | Indeterminable | Municipios | Corto y mediano plazo | **R:** Todos los campos de golf se riegan con aguas tratadas.<br>**M:** 50 % de los campos de golf utiliza aguas tratadas para riego a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Aprovechar al máximo los 228 millones de galones diarios (MGD) de aguas usadas tratadas que produce la AAA. | **3.** Requerir por ley que se rieguen los parques y las áreas verdes con aguas usadas tratadas. | DRNA y AAA | Indeterminable | Municipios, DTOP y fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R y M:** Los parques y áreas verdes se riegan con aguas tratadas. |
| | **4.** Requerir por ley el lavado de calles y aceras con aguas usadas tratadas. | DRNA y AAA | Indeterminable | Municipios, DTOP y fondos propios de las entidades responsables | Corto y mediano plazo | **R:** Todas las calles y aceras se lavan con aguas tratadas.<br>**M:** A corto plazo, 50 % del agua para lavar aceras y calles serán aguas tratadas y 100 % a mediano plazo. |
| | **5.** Reusar las aguas usadas tratadas en las plantas regionales de tratamiento de Puerto Nuevo y Bayamón para suplir el agua de las calderas de las plantas de generación eléctrica de Puerto Nuevo y Palo Seco. Realizar los estudios necesarios de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de la AAA para garantizar que se cumplan con los parámetros y estándares de diseño del sistema de purificación de agua ultrapura en las plantas generatrices. | AAA y AEE/ Genera PR | Indeterminable | AEE y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo | **R:** Las aguas tratadas se utilizan en las plantas generatrices de Puerto Nuevo y Palo Seco.<br>**M:** Se utiliza 30 % de las aguas tratadas a corto plazo, 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **6.** Explorar la viabilidad de utilizar las aguas usadas tratadas de la planta regional de Ponce para riego agrícola. | DRNA y AAA | Indeterminable | DA y fondos propios de las entidades responsables | Corto y mediano plazo | **R:** Informe sobre la viabilidad del uso de aguas tratadas de Ponce para terrenos agrícolas.<br>**M:** Aguas usadas tratadas de la planta regional de Ponce se usan par el riego agrícola si el informe establece que es viable. |

## F. Reducir la pérdida de agua potable promoviendo el uso de equipos de bajo consumo de agua en nuevos proyectos de vivienda, comerciales e industriales.

### COA F.1: Establecer políticas, leyes y reglamentos que requieran la instalación obligatoria de dispositivos eficientes en proyectos nuevos para optimizar el uso del agua y minimizar su desperdicio.[8]

**Mejores prácticas:**

- Israel: el país hizo obligatorio el uso de inodoros eficientes y fijó tarifas de agua que desalientan el derroche. https://www.timesofisrael.com/recycling-toilet-waste-and-four-other-israeli-answers-to-californias-drought/
- Singapur: la isla puede satisfacer hasta 30 % de sus necesidades de agua con agua reciclada, y hasta 25 % de sus necesidades con agua desalinizada. El uso de agua por persona se redujo también de 43 galones (165 litros) por día en 2003 a 39 galones (150 litros) en la actualidad. https://www.weforum.org/agenda/2022/11/singapore-wastewater-recycling-water-stressed/
- EE. UU.: el programa *WaterSense* se diseñó en asociación voluntaria entre la EPA y los fabricantes, minoristas y empresas de servicios públicos para llevar productos de uso eficiente del agua a los consumidores: https://www.epa.gov/watersense

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Aprobar una ley que exija la instalación de equipos de bajo consumo de agua en los nuevos proyectos de construcción de viviendas, comercios e industrias. (Véase también el objetivo B.1.1.) | **1.** Redactar un proyecto de ley para exigir la instalación de equipos de bajo consumo de agua en los nuevos proyectos de construcción de viviendas, comercios e industrias. | DRNA | Indeterminable | Fuentes propias de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** En el plazo de un año, una ley que exige equipos de bajo consumo de agua en toda nueva construcción de viviendas, comercios e industrias.<br>**M:** Proyecto de ley radicado en 6 meses. |
| | **2.** Lograr la aprobación del proyecto en la Asamblea Legislativa y la firma del gobernador. | Asamblea Legislativa y Oficina del Gobernador | | | | |
| | **3.** Aplicar la ley a los nuevos proyectos. | OGPe | | | | |

[8] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructura (sección 7.2). Aunque el objetivo y las estrategias se asemejan a otros incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector. Véanse los COA B.1 y B.2 del referido sector.

## G. Fomentar e incentivar el reemplazo de los artefactos o equipos existentes por unos de bajo consumo de agua en proyectos de vivienda, comercios e industrias.

### COA G.1: Desarrollar e implantar un programa de subsidio para el remplazo de artefactos y equipos existentes por unos de uso eficiente del agua.[9]

**Mejores prácticas:**

- Australia: el gobierno ofrece incentivos financieros y programas de reembolso para los hogares que instalen artefactos de bajo consumo de agua, como cabezales de duchas, grifos y sistemas de riego eficientes. https://www.watercorporation.com.au/waterwise/waterwise-offers
- EE. UU.: algunos estados, como California y Colorado, ofrecen incentivos y programas de reembolso para los hogares que instalen artefactos de bajo consumo de agua. Algunas ciudades han implantado ordenanzas que requieren el uso de artefactos de bajo consumo de agua en las construcciones nuevas. https://socalwatersmart.com/en/residential/rebates/available-rebates/toilets/#:~:text=Rebates%20Start%20at%20%2440,goes%20toward%20flushing%20the%20toilet
- Reino Unido: el gobierno implantó políticas que requieren que los nuevos edificios sean diseñados y construidos con artefactos de bajo consumo de agua. Ofrece incentivos financieros a los hogares que remplacen sus artefactos existentes con modelos de bajo consumo. https://www.newscientist.com/article/2336314-uk-toilets-and-showers-will-need-water-efficiency-labels-by-2025/
- Japón: el gobierno implantó políticas que promueven el uso de artefactos de bajo consumo de agua en hogares y edificios comerciales. Estableció programas de incentivos para las empresas que adopten tecnologías de ahorro de agua. https://wateractiondecade.org/country/japan/ y https://ic-sd.org/wp-content/uploads/2020/11/Mukhnaam-Kaur-Chattha.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Reducir la demanda de agua en viviendas, comercios e industrias existentes. | **1.** Desarrollar e implantar un programa educativo para informarle al público de los ahorros significativos en el pago de la factura de agua que obtendrán si remplazan los artefactos y equipos existentes con artefactos y equipos de alta eficiencia de uso del agua. | DRNA, AAA | Indeterminable | EPA, HUD y DV | Corto y mediano plazo | **R:** Remplazo de los artefactos y equipos existentes con artefactos y equipos de alta eficiencia de uso del agua en las viviendas, comercios e industrias existentes.<br>**M:** 50 % de los artefactos remplazados a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |
| | **2.** Desarrollar e implantar subsidios económicos para remplazar los artefactos y equipos existentes con artefactos y equipos de alta eficiencia en el uso del agua. | DH | Indeterminable | EPA, HUD y DV | Corto y mediano plazo | |
| | **3.** Eliminar el Impuesto sobre Ventas y Uso (IVU) para los artefactos y equipo de alta eficiencia de uso del agua en períodos específicos. | DH | Indeterminable | DH | Corto plazo | **R:** Exención del IVU para artefactos de alta eficiencia de agua en períodos específicos.<br>**M:** Exención de 100 % del IVU para artefactos de alta eficiencia de agua a corto plazo. |

[9] Ídem.

## H. Propiciar la utilización de tecnología y el uso de técnicas modernas para identificar las fuentes de pérdida de agua en los sistemas de distribución de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados en aras de disminuir dicha pérdida.

### COA H.1: Establecer en la AAA una oficina dedicada exclusivamente a la detección y reparación de escapes de agua en el sistema de distribución.

**Mejores prácticas:**

- Reino Unido: existen compañías de agua en todo el país que tienen la responsabilidad de detectar y reparar los escapes en el sistema de distribución. https://www.suez.com/en/uk/water-network-management/leakage/satellite-water-leak-detection
- España: cada comunidad autónoma tiene su propia agencia de gestión del agua. Estas agencias y compañías de agua locales se encargan de detectar y reparar los escapes en el sistema de distribución. https://www.rtve.es/noticias/20230223/agua-fuga-espana-pierde-agua/2419120.shtml
- Australia: en el país la responsabilidad de la gestión del agua varía según los estados y territorios. Por ejemplo, en Nueva Gales del Sur se encuentra *WaterNSW*, una corporación estatal encargada de la gestión de los recursos hídricos y la provisión de agua a través de infraestructuras. Estas agencias son responsables de detectar y reparar los escapes en el sistema de distribución. https://www.governmentnews.com.au/sydney-waters-anti-leak-pipe-dream/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Incrementar en 40 % la disponibilidad de agua a través del sistema de la AAA. | **1.** Establecer la Oficina de Control de Pérdida de Agua en la AAA. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto y mediano plazo | **R y M:** Oficina creada y en funciones. |
| | **2.** Reclutar al personal de esa oficina. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto y mediano plazo | **R:** Todo el personal necesario para la oficina reclutado.<br>**M:** 75 % del personal necesario reclutado a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |
| | **3.** Adquirir el equipo para detectar escapes ocultos. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto y mediano plazo | **R:** Todo el equipo necesario para detectar los escapes adquirido.<br>**M:** 75 % del equipo necesario adquirido a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |
| | **4.** Capacitar al personal reclutado. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto plazo | **R:** Todo nuevo empleado de la oficina recibe capacitación.<br>**M:** 100 % del personal recibe capacitación a corto plazo. |

**COA H.2: Realizar evaluaciones sistemáticas para detectar y eliminar escapes de agua en el sistema de distribución.**

**Mejores prácticas:**

- Reino Unido: se utilizan tecnologías avanzadas como la telemetría, los sensores de flujo y la monitorización en tiempo real para detectar fugas en las redes de distribución de agua. Las empresas proveedoras de agua establecen sistemas de gestión de fugas y realizan inspecciones regulares para identificar y reparar las fugas de manera eficiente. https://www.water.org.uk/wp-content/uploads/2022/03/Water-UK-A-leakage-Routemap-to-2050.pdf
- EE. UU.: se utilizan diferentes métodos para detectar las fugas de agua, como la inspección visual, la escucha de sonidos anormales, el uso de cámaras de infrarrojos y el análisis de los datos del consumo. Además, se han adoptado sistemas de detección de fugas basados en tecnología avanzada, como la monitorización acústica y la detección de anomalías en el flujo del agua. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf
- Alemania: se utilizan sistemas de detección de fugas basados en tecnología avanzada, como sensores de presión y flujo, para monitorear las redes de distribución del agua. Estos sistemas permiten detectar y localizar las fugas de manera precisa y rápida, lo que ayuda a reducir las pérdidas de agua. https://www.miya-water.com/fotos/artigos/12_the_new_german_water_loss_regulations_13977082395a325ff8c4ddc.pdf
- Australia: se emplean diversas tecnologías para detectar las fugas, como la monitorización acústica, la telemetría y la monitorización en tiempo real. Estos sistemas permiten identificar las fugas en las redes de distribución y facilitan su pronta reparación. https://www.governmentnews.com.au/sydney-waters-anti-leak-pipe-dream/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.2.1** Llevar a cabo evaluaciones periódicas y metódicas del sistema de distribución con el fin de identificar y solucionar las fugas de agua presentes en el sistema de distribución. | **1.** Remplazo planificado de la tubería que está dando problemas. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Remplazo de toda la tubería que esté dando problemas.<br>**M:** Remplazo de 30 % de la tubería que esté dando problemas a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **2.** Instalar sistemas telemétricos para alertar de desbordes o escapes en todos los tanques de almacenamiento de la AAA. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Instalación de los sistemas telemétricos completada.<br>**M:** Identificación de 30 % de los escapes a corto plazo; 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.2.1** Llevar a cabo evaluaciones periódicas y metódicas del sistema de distribución con el fin de identificar y solucionar las fugas de agua presentes en el sistema de distribución. | **3.** Medir 90 % del agua potable producida por la AAA en sus diferentes puntos de distribución con el fin de identificar fugas. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto y mediano plazo | **R:** Se identifican las fugas con las mediciones realizadas.<br>**M:** Medir 60 % del agua que se produce a corto plazo; y 90 % a mediano plazo. |
| | **4.** Utilizar tecnología satelital para ayudar a detectar los escapes en el sistema de distribución. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto plazo | **R:** Se identifican las fugas por tecnología satelital.<br>**M:** 100 % de las fugas detectadas utilizando datos de satélite. |
| | **5.** Realizar inspecciones sorpresa durante fines de semana y días feriados para detectar el hurto de agua. | AAA | Indeterminable | AAA | Corto plazo | **R:** Continuidad de las inspecciones sorpresa en los fines de semana y días feriados y detección de hurto de agua.<br>**M:** Número de inspecciones sorpresa con detecciones de robo de agua. |

## I. Identificar y proteger las áreas de recarga de los acuíferos.

### COA I.1: Identificación precisa de las áreas de recarga de los acuíferos.

**Mejores prácticas:**

- Canadá: el país ha implantado políticas y programas de gestión de recursos hídricos para proteger y conservar sus acuíferos. Esto incluye regular el uso del agua subterránea y adoptar prácticas de gestión sostenible. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/water-overview/sources/groundwater.html
- Australia: dado su entorno seco y la importancia del agua subterránea, ha implantado un sistema de gestión del agua subterránea que incluye identificar, monitorear y regular los acuíferos para proteger su disponibilidad a largo plazo. https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/guidelines-groundwater-quality-protection.pdf
- Alemania: la nación ha implantado una serie de medidas para proteger sus acuíferos, como regular el uso de las aguas subterráneas, identificar las zonas de protección y promover prácticas agrícolas sostenibles para prevenir la contaminación de los acuíferos. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2266878/
- Países Bajos: dado que gran parte del país se encuentra bajo el nivel del mar, los Países Bajos han desarrollado un sistema de gestión integral del agua que incluye medidas de protección de acuíferos para prevenir la intrusión del agua salada y la sobreexplotación. https://www.iwra.org/wp-content/uploads/2021/07/Groundwater-management-Netherlands-GJ-Nijsten-June2021.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.1.1** Asegurar el reabastecimiento de los acuíferos. | **1.** Identificar las áreas de recarga de los acuíferos mediante estudios hidrogeológicos e incorporar la información en mapas de sistemas de información geográfica (GIS). | DRNA | Indeterminable | NASA, USGS y NSF | Corto y mediano plazo | **R:** Áreas de recarga de los acuíferos identificadas mediante estudios hidrogeológicos y datos integrados en los mapas de GIS.<br>**M:** Estudios hidrogeológicos realizados a mediano plazo. |

## COA I.2: Proteger las áreas de recarga de los acuíferos.

**Mejores prácticas:**

- Francia: el país tiene legislación para proteger los acuíferos, como la Ley de Aguas y los planes de gestión del agua a nivel de cuenca. https://www.brgm.fr/en/challenges/groundwater-management
- Brasil: la nación cuenta con leyes y programas para proteger los acuíferos, como la Ley de Aguas y el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull56-1/56105912627.pdf
- Sudáfrica: el país tiene regulaciones y programas para proteger los acuíferos, como la Ley Nacional de Aguas y la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. https://iwaponline.com/wp/article/23/4/819/82445/Implementation-of-groundwater-protection-measures
- Nueva Zelanda: el archipiélago cuenta con la Ley de Gestión de Aguas y el Plan de Gestión de Recursos Hídricos, que incluyen disposiciones para proteger los acuíferos. https://environment.govt.nz/assets/Publications/Files/technical-guidelines-for-delineating-drinking-water-source-protection-zones.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.2.1** Proteger las zonas de recarga de los acuíferos, a través de legislación y programas. | **1.** Prohibir las descargas de aguas usadas en los sumideros. | DRNA | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** Eliminación de las descargas de aguas usadas en las zonas de recarga de acuíferos.<br>**M:** Números de intervenciones a base de la regulación desarrollada e implantada a corto plazo. |
| | **2.** Clasificar las áreas de recarga de los acuíferos como áreas especiales que ameritan protección. | JP | Indeterminable | JP | Corto plazo | **R:** Protección de las áreas de recarga de los acuíferos como zona especial protegida.<br>**M:** Clasificación desarrollada y establecida a corto plazo. |
| | **3.** Vedar la construcción en las áreas de recarga de los acuíferos. | OGPe | Indeterminable | OGPe | Corto plazo | **R:** Áreas de recarga de los acuíferos protegida.<br>**M:** Prohibición de la construcción en las zonas de recarga de los acuíferos efectiva a corto plazo. |

## J. Optimizar el uso del agua en el sector agrícola.

### COA J.1: Reducir la pérdida del agua en el cultivo de cosechas.

**Mejores prácticas:**

- España: ha adoptado técnicas de modernización y renovación de la infraestructura de riego, como la instalación de sistemas de riego más eficientes, la automatización de canales y la aplicación de tecnologías de control y monitoreo. Estas medidas han contribuido a reducir la pérdida de agua en los canales de riego. https://efeagro.com/agricultores-tecnologia-dia-mundial-agua-2023/
- Australia: ha invertido en la modernización de los sistemas de riego, incluyendo instalar sistemas de riego por goteo y usar tecnologías de control y monitoreo. Estas acciones han permitido una gestión más eficiente del agua en los canales de riego y una reducción significativa de las pérdidas. https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-how-australia-is-securing-its-water-future
- Israel: reconocido por su experiencia en la gestión del agua, incluyendo el riego, el país ha adoptado tecnologías avanzadas como la irrigación por goteo y la telemetría para controlar y minimizar la pérdida de agua en los canales de riego. https://www.israel21c.org/israeli-agricultural-innovations-will-keep-the-world-fed/
- China: ha llevado a cabo un esfuerzo masivo para modernizar sus sistemas de riego, incluyendo la rehabilitación de canales y el uso de tecnologías más eficientes. Estas medidas han contribuido a reducir la pérdida de agua en los canales de riego y mejorar la eficiencia en el uso del agua. https://www.icid.org/ws1_2001.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.1** Reducir la demanda de agua en el sector agrícola. | **1.** Integrar al Departamento de Agricultura en las iniciativas de conservación del agua. | DRNA | Indeterminable | USD y NRCS | Corto y mediano plazo | **R:** Participación del DA en las iniciativas de conservación del agua.<br>**M:** Coordinación continua con el DA. |
| | **2.** Reducir la pérdida de agua en los canales de riego agrícola de 60 % a 10 % para 2050. | DRNA y DA | Indeterminable | USD y NRCS | Corto, mediano y largo plazo (2050) | **R:** Reducir a 10 % la pérdida de agua en los canales de riego agrícola para 2050.<br>**M:** Reducir a 45 % la pérdida de agua en los canales de riego a corto plazo, a 25 % a mediano plazo y a 10 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.1** Reducir la demanda de agua en el sector agrícola. | **3.** Requerir por ley el riego por goteo. En casos donde el riego por goteo no sea viable, utilizar el *center pivot system*. | DRNA y DA | Indeterminable | USD y NRCS | Corto y mediano plazo | **R1:** Ley que requiere el riego por goteo o en su lugar el *center pivot system*.<br>**R2:** Uso generalizado de los sistemas de riego por goteo o el *center pivot system,* según aplique.<br>**M:** Desarrollo de la ley de riego por goteo a corto plazo, ley sometida a votación a mediano plazo y puesta de la ley en vigor a largo plazo. |
| | **4.** No sembrar cultivos que requieran grandes cantidades de agua. (Ver la estrategia J.2.1.6.) | DRNA y DA | Indeterminable | USD y NRCS | Corto, mediano y largo plazo | **R:** Se reduce significativamente la siembra de cultivos que requieran grandes cantidades de agua.<br>**M:** Reducción en 30 % de los cultivos que utilicen grandes cantidades de agua a corto plazo, en 60 % a mediano plazo y en 100 % a largo plazo. |

## COA J.2: Ampliar los abastos de agua para el sector agrícola.

**Mejores prácticas:**

- Israel: el Estado ha desarrollado y aplicado tecnologías avanzadas como la irrigación por goteo, el riego controlado por computadora y la reutilización de aguas residuales tratadas. Estas prácticas eficientes han permitido a Israel maximizar el rendimiento de los cultivos con una menor cantidad de agua. https://www.oecd-ilibrary.org/sites/2bef8da8-en/index.html?itemId=/content/component/2bef8da8-en
- Australia: ha implementado medidas significativas para reducir la demanda de agua en la agricultura. Ha promovido la adopción de prácticas de riego más eficientes, como la irrigación por goteo y el riego de precisión. Además, han invertido en la modernización de la infraestructura de riego y en la gestión sostenible de los recursos hídricos. https://www.dcceew.gov.au/water/policy/water-for-food
- España: ha establecido políticas y programas para mejorar la eficiencia del riego agrícola. Ha promovido la modernización de los sistemas de riego, incluyendo la adopción de tecnologías más eficientes y la planificación de cultivos adaptados al clima y disponibilidad de agua. Además, ha fomentado la gestión integrada del agua y la agricultura. https://www.bbc.com/travel/article/20220220-valencias-la-huerta-spains-ingenious-water-maze
- China: la nación ha enfrentado desafíos significativos en términos de escasez de agua en el sector agrícola. Ha desarrollado medidas como modernizar los sistemas de riego, la promoción de tecnologías de riego más eficientes y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. http://www.xinhuanet.com/english/2021-04/10/c_139871605.htm

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.2.1** Incrementar el suministro de agua para el sector agrícola. | **1.** Dragar embalses que suplen agua para riego agrícola. | AAA y DA | Indeterminable | USDA, NRCS, DRNA, DA | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Embalses que suplen agua al sector agrícola dragados.<br>**M:** 30 % de los embalses que suplen agua al sector agrícola dragados a corto plazo; dragado completado en 60 % a mediano plazo, y 100 % del dragado a largo plazo. |
| | **2.** Establecer y poner en funciones un programa de dragado preventivo en embalses que suplen agua para riego agrícola. | AAA y DA | Indeterminable | USDA, NRCS, DRNA, DA | Corto y mediano plazo | **R:** Embalses que suplen agua para riego agrícola dragados como medida preventiva.<br>**M:** Desarrollar 50 % del programa a corto plazo; completar y poner el programa en acción a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.2.1** Incrementar el suministro de agua para el sector agrícola. | **3.** Remover los jacintos de agua y otras malezas acuáticas de los embalses que suplen agua para riego agrícola. | AAA, DRNA y DA | Indeterminable | USDA, NRCS, DRNA, DA | Corto y mediano plazo | **R:** Remoción de la maleza acuática completada y un programa de mantenimiento en marcha.<br>**M:** Remoción de 50 % de la maleza acuática a corto plazo; remoción de 100 % a mediano plazo. |
| | **4.** Promover y viabilizar el uso de las aguas usadas tratadas para el riego agrícola. | DRNA y DA | Indeterminable | USDA, NRCS | Corto y mediano plazo | **R:** Se promueve el uso significativo de las aguas tratadas para el riego agrícola.<br>**M:** Aumenta en 50 % el uso de aguas sanitarias tratadas para el riego agrícola a corto plazo, y en 100 % a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.2.1** Incrementar el suministro de agua para el sector agrícola. | **5.** Utilizar las aguas usadas tratadas para el riego de pastos para el ganado y otros animales. | DRNA y DA | Indeterminable | USDA, NRCS | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Se promueve el uso significativo de las aguas sanitarias tratadas para el riego de pastos para el ganado y otros animales.<br>**M:** Aumenta en 30 % el uso de las aguas tratadas en los riegos de pastos para el ganado y otros animales, en 60 % a mediano plazo y en 100 % a largo plazo. |
| | **6.** No sembrar cultivos que requieran grandes cantidades de agua. (Ver la estrategia J.1.1.4.) | DA | Indeterminable | USDA, NRCS | Corto, mediano y largo plazo (25 años) | **R:** Reducir significativamente la siembra de cultivos que requieran grandes cantidades de agua.<br>**M:** Reducción en 30 % de los cultivos que utilicen grandes cantidades de agua a corto plazo, en 60 % a mediano plazo y en 100 % a largo plazo. |

**Tabla 7.8.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **ecosistemas marinos y zonas costeras**.

**A. Promover el restablecimiento, conservación y gestión de modo sostenible de los arrecifes de coral, los ecosistemas marinos y litorales para frenar los efectos del cambio climático, así como las actuaciones para evitar la destrucción, la sobrexplotación, la contaminación de hábitats y las demás causas antropogénicas.**

**COA A.1: Revisar y enmendar las leyes y reglamentos vigentes que inciden sobre el uso de terrenos, y sus calificaciones y actividades en la zona costanera de Puerto Rico para integrar regulaciones que se ocupen del efecto del cambio climático sobre el territorio, especialmente de la subida del nivel mar.**

**Mejores prácticas:**

- El Proceso Legislativo en Puerto Rico (octubre-2021). https://www.oslpr.org/_files/ugd/5be21a_8edb3b4db6f54290b244675c5adad60c.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Revisar y enmendar el **Reglamento Conjunto (RC)** vigente.[4] | **1.** Revisar el RC para que incluya métricas y las guías sobre sistemas marinos y costas presentadas en el artículo 9 de la Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (Ley 33 del 2019). | JP | Indeterminable | Fondos de la JP | Corto plazo | **R:** RC alineado con la Ley 33-2019.<br>**M:** Documento de revisión terminado.<br>**M:** Proceso de vistas públicas culminado. |
| | **2.** Incluir el aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica como riesgos en el RC. | | | | Corto plazo a mediano plazo | **R:** Riesgos incluidos en el RC.<br>**M:** Inclusión de los riesgos de aumento del nivel del mar y de la marejada ciclónica completada. |
| | **3.** Evaluar los componentes del RC para que su implantación promueva la reducción de la exposición de los asentamientos poblacionales y de la infraestructura a los efectos del cambio climático, especialmente por el aumento del nivel del mar y las inundaciones costeras. | | | | Corto plazo a mediano plazo | **R:** Componentes del documento evaluados.<br>**M:** Evaluación de los componentes completada. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

[4] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructuras (sección 7.2). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Revisar y enmendar el Reglamento Conjunto (RC) vigente . | **4.** Evaluar los componentes del RC para que su implantación promueva la reducción de la vulnerabilidad social, física, de la infraestructura y de los ecosistemas a los efectos del cambio climático. Este punto debe atenderse a través del fortalecimiento de varios componentes del RC vigente. | JP | Indeterminable | Fondos de la JP | Corto a mediano plazo | **R:** Componentes del documento evaluados.<br>**M:** Evaluación de los componentes completada. |
| | **5.** Incorporar un nuevo distrito de zonificación de riesgos (R) con una zona de exclusión asociada a actividades concernientes al mar. Este distrito incluye amenazas y riesgos asociados a las manifestaciones del cambio climático. El distrito incluiría: 1) los terrenos declarados como espacios abiertos, según la reglamentación federal (44 CFR, Parte 80), y 2) terrenos que están ubicados en áreas de riesgo y multirriesgo, tales como inundaciones ribereñas y costeras, marejada ciclónica, aumento de nivel del mar y derrumbes (incluyendo derrumbes en costas elevadas, altas y de muy alta susceptibilidad). Todo dueño u operador de estructuras existentes ubicadas en terrenos con zonificación de riesgo debe adquirir y mantener una fianza que cubra los costos de demolición y remoción de la(s) estructura(s) cuando se abandonen por el aumento del nivel del mar, el oleaje ciclónico, las marejadas ciclónicas, marejadas producidas por frentes fríos y otros tipos de marejadas. La fianza no aplicará a personas de bajos recursos económicos. | | | | Corto a mediano plazo | **R:** Distrito de zonificación incorporado.<br>**M:** Incorporación del distrito de zonificación completada. |
| | **6.** Enmendar la SECCIÓN 6.4.2.2 OTRAS CONSIDERACIONES, inciso f) INTENSIDAD DEL DESARROLLO, para que diga como sigue: "A los fines de proteger el gran potencial de los terrenos no urbanos de la zona costanera, especialmente de los terrenos que colindan con la zona marítimo terrestre, para la recreación, no se permitirán nuevos desarrollos internos paralelos a la costa. Se promoverá y estimulará que esos terrenos se mantengan en su estado natural y que los usos que allí se ubiquen armonicen con el potencial del sector costanero". | | | | Corto a mediano plazo | **R:** Sección enmendada.<br>**M:** Enmienda completada. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Revisar y enmendar el Reglamento Conjunto (RC) vigente . | **7.** Incluir regulación que indique que no se permitirá la ampliación de estructuras existentes y prohibir toda reconstrucción, rehabilitación o mejora que abarquen más de la mitad de la estructura o que cuesten más de la mitad del valor de la estructura existente. | OGPe | Indeterminable | Fondos de la JP | Corto plazo | **R:** Regulación incluida.<br>**M:** Regulación implantada. |
| **A.1.2** Revisar y enmendar la Ley para la protección, conservación y manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico (Ley 147 del 15 de julio de 1999, enmendada el 15 de agosto de 2020). | **1.** Revisar y enmendar la Ley 147-1999 para alinearla con las métricas de la Ley 33-2019, principalmente con las relacionadas con los sistemas marinos y las costas. | DRNA y Asamblea Legislativa de Puerto Rico | Indeterminable<br>Tarea de la agencia:<br>-Costos legales<br>-Costos operacionales de nómina | Fondos propios de la Asamblea Legislativa de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Revisión de la Ley 147-1999 para alinearla con la Ley 33-2019.<br>**M:** Revisión y alineación completadas. |
| | **2.** Revisar la ley para alinearla con la situación actual de los arrecifes de coral, a base de la mejor ciencia disponible, y establecer zonas de anclaje seguras, tomando en consideración las áreas de corales, que constituyen hábitats críticos. | | | | | **R:** Revisión de la Ley completada.<br>**M:** Documento de revisión terminado. |
| | **3.** Desarrollar un proyecto de enmienda a la ley por parte del DRNA. | | | | | **R:** Enmienda incorporada.<br>**M:** Enmienda desarrollada. |
| | **4.** Radicación del proyecto de enmienda de la ley por parte de la Rama Legislativa. | | | | | **R:** Proyecto presentado.<br>**M:** Proceso de radicación completado. |
| | **5.** Vistas públicas para la evaluación y participación ciudadana. | | | | | **R:** Realización de las vistas públicas.<br>**M:** Proceso de vistas públicas culminado. |
| | **6.** Aprobación de enmiendas. | | | | | **R:** Documento de enmiendas aprobado en la Rama Legislativa y firmado por el gobernador.<br>**M:** Enmiendas aprobadas. |

## COA A.2: Desarrollar estrategias para minimizar los efectos de la acumulación del sargazo en las costas.[5]

**Mejores prácticas:**

- *Pelagic Sargassum cleanup cost in Mexico.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569123000674
- *The Sargaboat, a solution to clean up the massive arrival of Sargassum.* https://www.boatsnews.com/story/39832/the-sargaboat-a-solution-to-clean-up-the-massive-arrival-of-sargassum
- *Bioimpact, Inc.* (2023). *A Foundational Blueprint for the Development of a Comprehensive Pelagic Sargassum Management Plan for the United States Virgin Islands. Submitted to the U.S. Virgin Islands Department of Planning and Natural Resources Division of Coastal Zone Management.*
- H.A. Oxenford *et al.,* (2021). "*Challenges of Turning the Sargassum Crisis into Gold: Current Constraints and Implications for the Caribbean". Phycology*, *1,* 27–48. https://www.doi.gov/oia/press/Interior's-Office-of-Insular-Affairs-Funds-Study-of-Mitigation-Options-for-Sargassum-Seaweed-Influx-in-the-U.S.-Virgin-Islands

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Remover el sargazo que llega a las costas y manejar (reducir) la llegada del sargazo a las costas. Ello protegería al sistema eléctrico de daños potenciales que tengan el efecto de interrumpir el suministro eléctrico. | **1.** Implantar medidas para interceptar el sargazo antes de que llegue a la costa, mediante acuerdos con los municipios, la academia y ONG. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la agencia y subvenciones (*grants*) federales. Por ejemplo:<br>*-U.S. Department of the Interior*. https://www.doi.gov/oia/press/Interior's-Office-of-Insular-Affairs-Funds-Study-of-Mitigation-Options-for-Sargassum-Seaweed-Influx-in-the-U.S.-Virgin-Islands<br>-NOAA | Corto plazo | **R:** Evaluación de medidas completada.<br>**M:** Evaluación y acuerdos terminados. |
| | **2.** Evaluar las restricciones legales y jurisdiccionales para gestionar la obtención de permisos con los objetivos de implantar las medidas de remoción del sargazo en las costas e interceptar el sargazo antes de que llegue a estas. | | | | Corto plazo | **R:** Permisos gestionados y obtenidos.<br>**M:** Permisos completados y obtenidos. |
| | **3.** Desarrollar e implantar estrategias para manejar y utilizar el sargazo acumulado en las costas, mediante acuerdos con los municipios, la academia, ONG y consultores. | | | | Corto plazo | **R:** Acuerdos establecidos.<br>**M:** Acuerdos completados. |
| | **4.** Desarrollar e implantar medidas para interceptar el sargazo. | | | | Corto a mediano plazo | **R:** Estrategias desarrolladas.<br>**M:** Estrategias completadas. |
| | | | | | Corto a mediano plazo | **R:** Medidas desarrolladas e implantadas.<br>**M:** Medidas desarrolladas e implantadas. |

[5] Este es un tema transversal que incide en el sector de turismo (sección 7.10). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA A.3: Establecer más mecanismos para observar cómo se comporta la acidificación marina que puede afectar los ecosistemas costeros.**

**Mejores prácticas:**

- *Seasonal variations of carbonate chemistry at two western Atlantic coral reefs.* https://doi.org/10.1029/2020JC016108
- *Net ecosystem dissolution and respiration dominate metabolic rates at two western Atlantic reef sites.* https://doi.org/10.1002/lno.12009

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Apoyar y fortalecer los esfuerzos de monitoreo de la acidificación oceánica en Puerto Rico. | **1.** Establecer acuerdos y evaluar fuentes de fondos en conjunto con la academia, el *Caribbean Coastal Ocean Observing System* (CARICOOS) y ONG. | DRNA | Indeterminable | Subvenciones federales, NOAA | Corto plazo | **R:** Acuerdos y evaluaciones completadas.<br>**M:** Acuerdos y evaluaciones terminados. |

## B. Impulsar modalidades de pesca de bajo impacto ambiental.

### COA B.1: Prevenir, desalentar y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada.

**Mejores prácticas:**

- *A Guide to Fishermen Training Programs.* http://extension.msstate.edu/publications/guide-fishermen-training-programs

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Agilizar el proceso de otorgamiento de licencias a los pescadores. | **1.** Priorizar la contratación de personal administrativo para tramitar las licencias. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto y mediano plazo | **R:** Evaluación del porcentaje de aumento de licencias tramitadas y otorgadas.<br>**M:** Aumento de 60 % en las licencias tramitadas u otorgadas. |
| **B.1.2** Orientar a los pescadores sobre los hallazgos de los efectos de las manifestaciones del cambio climático en las actividades de pesca y poblaciones marinas. | **1.** Realizar acuerdos con agencias federales y estatales (ej., Departamento de Agricultura), municipios y ONG para coordinar reuniones con organizaciones comunitarias dirigidas a orientar a los pescadores sobre las mejores prácticas de pesca sostenible, con el fin de reducir el impacto en las poblaciones de especies de importancia comercial. | DRNA | Nominal | DRNA, *Caribbean Fishery Management Council* (NOAA)<br>*Sea Grant* (NOAA)<br>Subvenciones federales (NOAA) | Corto y mediano plazo | **R:** Acuerdos concretados.<br>**M:** Realización de 5 reuniones por regiones completadas en 2 años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Orientar a los pescadores sobre los hallazgos de los efectos de las manifestaciones del cambio climático en las actividades de pesca y poblaciones marinas. | **2.** Desarrollar una campaña educativa en marinas y comunidades costeras dirigida a que los pescadores no vean el papel del manejador de pesca como uno punitivo. | DRNA | $15,000 | CFMC-NOAA | Corto plazo | **R:** Desarrollo de la campaña completado.<br>**M:** Campaña y reuniones educativas realizadas. |
| **B.1.3** Incentivar a los pescadores para que adopten mejores prácticas de pesca. | **1.** Diseñar un programa de incentivos para apoyar a los pescadores que adopten las mejores prácticas de pesca.<br>**2.** Diseñar un programa de ciencia ciudadana para promover y enseñar las mejores prácticas de pesca, que incentive a los pescadores por su participación. | DRNA y DA | $560,000 | Subvenciones de la *National Science Foundation*, NOAA y el DA | Mediano y largo plazo (continuo) | **R:** Completar el reclutamiento de los pescadores en ambos programas.<br>**M:** Alcanzar la participación de 60 % de las asociaciones pesqueras. |
| **B.1.4** Realizar la vigilancia adecuada para desalentar la **pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (INDNR).** | **1.** Adiestrar a los vigilantes para el manejo de la pesca teniendo en cuenta los efectos de la INDNR en el cambio climático. | | | | Corto plazo | **R:** Adiestramiento realizado.<br>**M:** 80 % de los pescadores adiestrados en tres años. |

**COA B.2: Evitar los desechos oceánicos de artes de pesca abandonados (*derelict fishing gear*) y el efecto del uso de combustible fósil en las embarcaciones.**

**Mejores prácticas:**

- *Reducing plastic in fishing and aquaculture: what alternatives to protect our oceans.* https://biogears.eu/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Establecer una política estricta que promueva el manejo y desecho correcto de redes, líneas, y otros artes de pesca. | **1.** Crear un reglamento sobre manejo de desechos y materiales usados en las prácticas de pesca con base en las recomendaciones del Plan de Manejo de Desechos Marinos de NOAA (en desarrollo). | DRNA | Indeterminable | Departamento de Agricultura federal (USDA), fondos propios de la entidad responsable y NOAA | Corto plazo | **R:** Reglamento desarrollado.<br>**M:** Reglamento completado. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Reglamento aprobado para su implantación.<br>**M:** Reglamento aprobado. |
| | | | | | Largo plazo (7 años) | **R:** Medidas que mejoran las prácticas de manejo de desechos establecidas.<br>**M:** Medidas implantadas. |
| **B.2.2** Reducir el uso de materiales tóxicos en los artes de pesca (plásticos producidos de petroquímicos y de plomo en las líneas de pesca). | **1.** Promover que los pescadores mejoren las condiciones de sus embarcaciones, que utilicen materiales ecoamigables en los artes de pesca (bioplásticos) y que empleen pesas hechas con materiales libres de plomo, ofreciendo incentivos a los pescadores que así lo hagan. | DRNA | $6,000 por pescador | Fondos propios de la entidad responsable<br>NOAA – *Marine Debris grants*. https://marinedebris.noaa.gov/resources/funding-opportunities | Corto plazo | **R:** Incentivos entregados.<br>**M:** 70 % de los incentivos entregados. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Reducción del uso de materiales tóxicos a mediano plazo.<br>**M:** Reducción del uso de materiales tóxicos en los artes de pesca a 60 % en nueve años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.2** Reducir el uso de materiales tóxicos en los artes de pesca (plásticos producidos de petroquímicos y de plomo en las líneas de pesca). | **1.** [...] y que empleen pesas hechas con materiales libres de plomo, ofreciendo incentivos a los pescadores que así lo hagan. | DRNA | $6,000 por pescador | Fondos propios de la entidad responsable<br>NOAA – *Marine Debris grants*. https://marinedebris.noaa.gov/resources/funding-opportunities | Mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Reducción del uso de materiales tóxicos a largo plazo.<br>**M:** Reducción de 100 % en el uso de materiales tóxicos en los artes de pesca. |
| | | | | | Largo plazo (15 años) | **R:** Reducción del material tóxico.<br>**M:** Reducción de 100 % en el uso de material tóxico en los artes de pesca. |
| | **2.** Promover la investigación y el uso de bioplásticos de origen natural, biodegradable o compostable a través de acuerdos de colaboración con agencias federales (ej., CFMC, USFWS, *Sea Grant Puerto Rico*, la academia y ONG). | | Indeterminable | NOAA – *Marine Debris grants*. https://marinedebris.noaa.gov/resources/funding-opportunities | Corto plazo | **R:** Acuerdos de colaboración para la investigación completados.<br>**M:** Acuerdos de colaboración completados. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Propuestas de investigación desarrolladas.<br>**M:** Propuestas de investigación desarrolladas. |
| | | | | | Largo plazo (15 años) | **R:** Investigaciones completadas.<br>**M:** Investigaciones completadas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.3.** Reducir el uso de combustible fósil en las embarcaciones. | **1.** Establecer acuerdos entre el DRNA, la academia, el Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral (CIEL), *Sea Grant Puerto Rico* y ONG para promover el uso de sistemas de propulsión híbridos (eléctrico + diésel) y biocombustibles, ofreciendo incentivos a los pescadores que los utilicen. | DRNA | Nominal | Fondos propios de la entidad responsable<br>NOAA – *Marine Debris grants.* https://marinedebris.noaa.gov/resources/funding-opportunities | Corto plazo | **R:** Acuerdos concretados.<br>**M:** 100 % de los acuerdos concretados. |
| | | | | | Corto plazo | **R:** Incentivos entregados.<br>**M:** 70 % de los incentivos entregados.<br>**M:** 100 % de los incentivos entregados. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Reducción del uso de combustible fósil.<br>**M:** Reducción de 50 % en el uso de combustible fósil. |
| | | | | | Largo plazo (15 años) | **R:** Reducción del uso de combustible fósil.<br>**M:** Reducción de 100 % en el uso de combustible fósil. |

**COA B.3: Establecer un plan robusto de estadísticas para las pesquerías en aguas jurisdiccionales de Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

- *The CWP Handbook of Fishery Statistics.* https://www.fao.org/cwp-on-fishery-statistics/handbook/en/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.3.1** Realizar la investigación necesaria para entender y mejorar los procesos de recopilación de estadísticas y los efectos de la pesca ilegal. | **1.** Escribir propuestas para conseguir fondos con el fin de establecer un Proyecto de Investigación Cooperativa (*Cooperative Research Project*) entre el DRNA, la academia y ONG en el que se comparen los datos de desembarques de pesca ilegal con los de pesca legal (pescadores con licencia), con miras a determinar una base de referencia (*baseline*) sostenida en datos reales.<br>**a.** Coordinar con el Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral (CIEL) y asociaciones de pescadores para realizar una investigación independiente del DRNA a fin de que se establezca confianza de que el proceso no será uno punitivo, sino uno de investigación. | DRNA | Indeterminable | *Cooperative Research Agreements* (CRP) - NOAA-DRNA *Grant #* NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626 | Corto plazo | **R:** Acuerdos concretados.<br>**M:** El 60 % de los acuerdos concretados. |
| | | | | | Corto plazo | **R:** Propuestas escritas y sometidas.<br>**M:** El 60 % de las propuestas escritas y sometidas. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Propuestas escritas y sometidas.<br>**M:** El 100 % de las propuestas escritas y sometidas. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Resultados de la investigación analizados y disponibles para los manejadores.<br>**M:** El 60 % de los resultados analizados y disponibles. |
| | | | | | Largo plazo (7 años) | **R:** Resultados de la investigación analizados y disponibles para los manejadores.<br>**M:** El 100 % de los resultados analizados y disponibles. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.3.2** Reforzar el Programa de Estadísticas Pesqueras del DRNA. | **1.** Priorizar la contratación de agentes pesqueros. | DRNA | Indeterminable | DRNA, fondos propios de la entidad responsable. Cooperative Research Agreements (CRP) - NOAA-DRNA Subvención # NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626 | Corto y mediano plazo | **R:** Número de contrataciones.<br>**M:** Aumento del 70 % de las contrataciones de agentes pesqueros. |
| | **2.** Coordinar una reunión con el **Instituto de Estadísticas de Puerto Rico (IEPR)** para establecer un plan con metodología, nomenclatura y parámetros que sean comparables con los utilizados a nivel internacional. | | | | | **R:** Reunión con el IEPR realizada.<br>**M:** Reunión culminada. |
| **B.3.3** Crear protocolos y estrategias para integrar a los pescadores en el manejo de los recursos. | **1.** En acuerdo con el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico y la academia, realizar talleres sobre la ciencia en la que se basan los manejadores: importancia de los datos para estadísticas. | DRNA | Indeterminable | *Cooperative Research Agreements* (CRP) – NOAA | Corto plazo | **R:** Acuerdo realizado.<br>**M:** Acuerdo establecido. |
| | | | | | Corto plazo | **R:** Desarrollo de talleres.<br>**M:** Talleres desarrollados. |
| | | | | | Corto plazo | **R:** Talleres ofrecidos.<br>**M:** El 80 % de los talleres ofrecidos. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Talleres ofrecidos.<br>**M:** Talleres completados. |

## C. Fomentar la sensibilización y la concienciación ciudadana para mejorar la comprensión pública sobre el estado del mar y los impactos que sufre.

### COA C.1: Realizar una campaña educativa sobre el impacto del cambio climático en la zonas costeras.[6]

**Mejores prácticas:**

- *NOAA's Community Resilience Education Theory of Change.* https://www.noaa.gov/education/explainers/noaas-community-resilience-education-theory-of-change

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** En conjunto con la emisora del gobierno de Puerto Rico, WIPR (canal 6), producir materiales de vídeo y presentación para la divulgación en forma de campaña mediática a través de vallas publicitarias (*billboards*), medios tradicionales y redes sociales sobre las manifestaciones del cambio climático en la franja costera. | **1.** Diseño y difusión de tres programas de televisión por el canal 6 sobre los efectos del cambio climático en las zonas costeras. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones:<br>*-Environmental Literacy Program: Increasing community resilience to extreme weather & climate change*- NOAA-SEC-OED-2022-2006995<br>*-Ocean Exploration Education Grants to Advance Diversity, Equity, and Inclusion.* https://marinesanctuary.org/news/2023-ocean-exploration-education-grants-to-advance-dei/ | Corto a largo plazo (continuo) | **R:** Difusión de los tres programas.<br>**M:** Diseño de los programas completado. |
| | **2.** Publicar y mantener una campaña de vídeos y divulgación sobre los efectos del cambio climático en las zonas costeras a través de las redes sociales *YouTube*, *Facebook* e *Instagram*. | | $60,000 por año | | | **R:** Videos publicados (tres videos anuales).<br>**M:** Videos desarrollados. |

[6] Este es un tema transversal que incide en el sector de educación (sección 7.11). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** En conjunto con la emisora del gobierno de Puerto Rico, WIPR (canal 6), producir materiales de vídeo y presentación para la divulgación en forma de campaña mediática a través de vallas publicitarias (*billboards*), medios tradicionales y redes sociales sobre las manifestaciones del cambio climático en la franja costera. | **3.** Llevar a cabo una campaña mediática (*media tour*) por programas de radio durante dos meses. | DRNA | Gastos de movilización de los exponentes | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones:<br>*-Environmental Literacy Program: Increasing community resilience to extreme weather & climate change-*<br>NOAA-SEC-OED-2022-2006995<br>*-Ocean Exploration Education Grants to Advance Diversity, Equity, and Inclusion.* https://marinesanctuary.org/news/2023-ocean-exploration-education-grants-to-advance-dei/ | Corto plazo | **R:** *Media tour* completado.<br>**M:** Material para el *media tour* desarrollado. |
| | **4.** Producir materiales gráficos para escuelas y comunidades. | | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Material producido y entregado.<br>**M:** Material producido. |
| | **5.** Reproducir y utilizar el material creado para ofrecer talleres a maestros del Departamento de Educación (DE), e integrarlo al currículo de Ciencias Ambientales. | | Indeterminable | | Corto, mediano y largo plazo (continuo) | **R:** Temas integrados al currículo.<br>**M:** Talleres ofrecidos y material integrado al currículo. |
| **C.1.2** Realizar acuerdos de colaboración entre el gobierno de Puerto Rico y la academia (universidades locales) para fomentar la educación y concienciación sobre los efectos del cambio climático en la franja costera. | **1.** Identificar (realizar un inventario de) las instituciones que tengan programas con currículos afines a temas marinos o costeros, o con currículos de Ciencias Marinas. | | Costos propios de la agencia | | Corto plazo | **R:** Inventario realizado.<br>**M:** Inventario completado. |
| | **2.** Coordinar reuniones para discutir acuerdos. | | | | Corto plazo a mediano plazo | **R:** Acuerdos discutidos.<br>**M:** Reuniones coordinadas. |
| | **3.** Diseñar planes para coordinar que profesores y estudiantes se integren a campañas de educación o que integren el tema a sus cursos. | | | | Mediano plazo | **R:** Planes diseñados.<br>**M:** El 50 % de los planes terminados. |
| | **4.** Identificar instituciones con programas en diseño gráfico, periodismo y comunicaciones para incluirla en el diseño de las campañas. | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Integración del tema.<br>**M:** Planes terminados y temas integrados. |
| | **5.** Implantar planes y campañas con los materiales y planes diseñados. | | | | Corto plazo | **R:** Inventario completado.<br>**M:** Inventario realizado. |
| | | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Campaña implantada.<br>**M:** Planes y campañas establecidos. |

## D. Establecer y gestionar eficazmente una red de áreas marinas protegidas con el fin de detener la pérdida de biodiversidad y mejorar la resiliencia de los ecosistemas marinos.

### COA D.1: Evaluar las áreas marinas protegidas existentes integrando en la evaluación el impacto del cambio climático a largo plazo.

**Mejores prácticas:**

- *Climate Change Adaptation Strategies for Protected Areas in Puerto Rico.* https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/5498
- *Coral Reef Resilience Index for Novel Ecosystems: A Spatial Planning Tool for Managers and Decision Makers - A Case Study from Puerto Rico.* https://www.intechopen.com/chapters/57845
- *Mapping and Evaluating Marine Protected Areas and Ecosystem Services: A Transdisciplinary Delphi Forecasting Process Framework.* https://doi.org/10.3389/fevo.2021.652492
- *Ecosystem benefits of adopting a whole-site approach to MPA management.* https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/fme.12581
- *Towards resilience-based management of marine capture fisheries.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0313592622001965
- Sostenibilidad financiera para el manejo estratégico de la Reserva Natural Canal de Luis Peña (2022-2031), isla municipio de Culebra, Puerto Rico. https://repositorio.upr.edu/handle/11721/2769

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Determinar el nivel de reglamentación de las **áreas marinas protegidas (AMP)** existentes. | **1.** Establecer acuerdos entre el DRNA, la academia y ONG para realizar un inventario de las AMP que no tienen reglamentación específica dentro de sus límites. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones federales:<br>-NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626<br>-FY2021 to FY2024 NOAA *Broad Agency Announcement* (BAA). https://grants.gov/search-results-detail/329261 | Corto plazo<br>Corto plazo<br>Mediano plazo | **R:** Acuerdos concretados.<br>**M:** El 50 % del inventario completado.<br>**M:** Inventario completado. |
| | **2.** Evaluar el tipo de reglamentación que tienen las AMP existentes. | | | | Mediano plazo | **R:** Informe de evaluación.<br>**M:** Evaluación de los reglamentos de las AMP completada. |
| | **3.** Diseñar un plan de monitoreo para evaluar cuáles AMP requieren reglamentación apremiante a base de la vulnerabilidad al cambio climático y hábitats críticos.<br>**a.** El plan debe tener componentes socioeconómicos que incluyan a comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas más vulnerables, especialmente las comunidades pesqueras. | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Plan de monitoreo para evaluar las AMP desarrollado.<br>**M:** Plan de monitoreo diseñado. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Determinar el nivel de reglamentación de las áreas marinas protegidas (AMP) existentes. | **4.** Implantar un plan de monitoreo. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones federales:<br>-NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626<br>-FY2021 to FY2024 NOAA *Broad Agency Announcement* (BAA) https://grants.gov/search-results-detail/329261 | Mediano y largo plazo (continuo) | **R:** Plan de monitoreo implantado.<br>**M:** Plan de monitoreo implantado. |
| | **5.** Determinar qué reglamentación es necesaria y qué de la reglamentación existente requiere cambios. | | | | Largo plazo (7 años) | **R:** Reglamentación revisada.<br>**M:** Evaluación completada. |
| | **6.** Identificar fuentes de financiación recurrente para los planes de monitoreo y la evaluación de las AMP. | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Identificación de fondos.<br>**M:** Fondos identificados. |
| **D.1.2** Integrar el manejo de las AMP en un marco de **Manejo Basado en Ecosistemas (EBM, por sus siglas en inglés)** con un componente socioeconómico proyectado. | **1.** Identificar un panel para evaluar la integración del EBM, en conjunto con la academia. Puede incluir a científicos con un historial de publicaciones sobre AMP y servicios ecosistémicos, partes interesadas y administradores que trabajan actualmente en AMP y tienen un historial de su compromiso, además de usuarios como los pescadores recreativos. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones:<br>[...] | Corto plazo | **R:** Panel establecido.<br>**M:** Panel identificado (100 %). |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.2** Integrar el manejo de las AMP en un marco de Manejo Basado en Ecosistemas (EBM, por sus siglas en inglés) con un componente socioeconómico proyectado. | **2.** Realizar consultas y grupos focales con la comunidad sobre los posibles beneficios de las AMP para esta; mantener a la comunidad integrada de forma permanente en el proceso. | DRNA | Indeterminable https://coast.noaa.gov/data/coasthome/funding/_pdf/BAA-NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626-09.29.2020.pdf | Fondos propios de la entidad responsable. Subvenciones: -NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626 -FY2021 *to* FY2024 NOAA *Broad Agency Announcement* (BAA) https://grants.gov/search-results-detail/329261 *-Cooperative Research Agreements* (CRP)-NOAA *-Grant* # NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626 https://coast.noaa.gov/data/coasthome/funding/_pdf/BAA-NOAA-NFA-NFAPO-2021-2006626-09.29.2020.pdf *-Coral Reef Conservation Funding Opportunities* https://coralreef.noaa.gov/conservation/funding_opps.html | Corto a mediano plazo | **R:** Consultas realizadas a mediano plazo. **M:** Consultas realizadas y grupos formados a corto plazo. |
| | **3.** Evaluar la disponibilidad de datos existentes para identificar servicios ecosistémicos medibles en las AMP ya establecidas. | | | | Mediano plazo<br>Largo plazo (7 años) | **R:** Disponibilidad de datos evaluada. **M:** El 50 % de la evaluación de datos realizada. **M:** Evaluación de datos completada. |
| | **4.** Realizar análisis para determinar la cobertura espacial relevante del sistema de AMP en el marco del EBM. | | | | Largo plazo (10 años)<br>Mediano plazo | **R:** Cobertura espacial determinada a largo plazo. **M:** Análisis realizado. |
| | **5.** Determinar la efectividad de los costos de implantación. | | | | Corto a mediano plazo | **R:** Efectividad de los costos determinada a mediano plazo. **M:** Análisis de costos realizado a corto plazo. |
| | **6.** Identificar fuentes de fondos recurrentes para el monitoreo y evaluación continua de los sistemas. | | | | Mediano a largo plazo (7 años) | **R:** Fuentes de fondos identificadas. **M:** Identificación de fondos realizada. |
| | **7.** Evaluar la eficacia y posible designación de nuevas AMP de no pesca en un marco socioeconómico y de justicia social. | | | | Mediano plazo<br>Mediano plazo<br>Largo plazo (10 años) | **R:** Evaluación realizada e implantación de nuevas AMP (de ser requerido). **M:** El 70 % de la evaluación realizada. **M:** Evaluación completada. |

## E. Promover el desarrollo de herramientas científico-técnicas específicas de apoyo al establecimiento de políticas y estrategias de actuación en las costas ante el cambio climático.

**COA E.1: Robustecer el banco de datos geoespaciales que incluya el alcance de la inundación producida por el aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica, marejadas generadas por frentes fríos y otros tipos de marejadas sobre la infraestructura general (incluyendo vivienda y comercios) y la infraestructura crítica (*lifelines*), entre otros, en Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

- *Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and deep learning.* https://developers.arcgis.com/python/samples/flood-inundation-mapping-using-sar-data-and-deep-learning/
- *National Flood Hazard Layer.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/data/flood.html
- *United Nations Framework Convention on Climate Change,* Materiales de capacitación del CGE - Evaluación de vulnerabilidad y adaptación, capítulo: Recursos costeros: https://unfccc.int/sites/default/files/ch5_coastal-resources-presentation.pdf
- *Flooding FEMA GIS support for emergency management.* https://gis-fema.hub.arcgis.com/pages/flooding
- *Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and deep learning.* https://developers.arcgis.com/python/samples/flood-inundation-mapping-using-sar-data-and-deep-learning/
- *National Flood Hazard Layer.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/data/flood.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Evaluar el impacto del alcance de la inundación por el aumento del nivel del mar sobre la infraestructura general (incluyendo vivienda y comercios), entre otros. | **1.** Robustecer el banco de datos geoespaciales, en conjunto con la academia.<br><br>Colaboradores potenciales: Otras organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que apliquen. | JP y DRNA | $8 millones | *Grants National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA); Fondos del Congreso y fondos del gobierno de Puerto Rico | Largo plazo (10 años)<br><br>Mediano plazo | **R:** Informe y mapas sobre la evaluación.<br><br>**M:** Evaluación completada. |
| | **2.** Actualizar y ampliar los datos geoespaciales (geodatos: proyecciones de aumento del nivel del mar; infraestructura como vivienda, servicios y negocios, entre otros). | JP en conjunto con otras agencias y municipios | $2 millones | | Mediano plazo<br><br>Corto plazo | **R:** Informes de *metadata* de los geodatos.<br><br>**M:** Geodatos identificados. |
| | **3.** Revisar y seleccionar los escenarios de proyecciones de aumento del nivel del mar que se utilizarán, con sus justificaciones por sectores. | DRNA | Indeterminable | | Corto plazo | **R:** Escenarios seleccionados.<br><br>**M:** Revisión completada. |
| | **4.** Calcular y analizar la infraestructura en exposición por el alcance de la inundación debido al aumento del nivel del mar con los escenarios seleccionados. | JP, CRIM y municipios | Indeterminable | | Corto plazo | **R:** Presentación de los cálculos de la infraestructura expuesta por proyección.<br><br>**M:** Cálculos y análisis realizados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Evaluar el impacto del alcance de la inundación por el aumento del nivel del mar sobre la infraestructura general (incluyendo vivienda y comercios), entre otros. | **5.** Presentar los hallazgos a todos los sectores (medios de comunicación y reuniones con los sectores). | DRNA y JP | Indeterminable | *Grants National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA); Fondos del Congreso y fondos del gobierno de Puerto Rico | Corto, mediano y largo plazo (7 años) | **R:** Presentaciones de los hallazgos a los sectores a través de los medios de comunicación (radio, televisión, escritos) y reuniones, entre otros.<br>**M:** Presentaciones realizadas. |
| **E.1.2** Evaluar el impacto del alcance de la inundación por el aumento del nivel del mar sobre la infraestructura crítica (*lifelines*). | **1.** Robustecer el banco de datos geoespaciales. | JP y DRNA | Indeterminable | Subvenciones de NOAA, fondos del Congreso y fondos del gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Informe y mapas sobre la evaluación.<br>**M:** Banco de geodatos ampliado. |
| | **2.** Actualizar y ampliar el banco de datos geoespaciales (geodatos: proyecciones del aumento del nivel del mar e infraestructura crítica). | | | | | **R:** Banco de geodatos ampliado y actualizado.<br>**M:** Banco de geodatos ampliado y actualizado. |
| | **3.** Revisar y seleccionar los escenarios de proyecciones del aumento del nivel del mar que se utilizarán, con sus justificaciones por sectores. | | | | | **R:** Revisión y selección completada.<br>**M:** Escenarios de proyecciones revisados y seleccionados. |
| | **4.** Calcular y analizar la infraestructura crítica expuesta al alcance de la inundación por el aumento del nivel del mar, a base de los escenarios seleccionados. | | | | | **R:** Cálculos y análisis completados.<br>**M:** Análisis completado. |
| | **5.** Presentar los hallazgos a todos los sectores (en medios de comunicación y reuniones con los sectores). | | | | | **R:** Presentaciones de los hallazgos a los sectores a través de los medios de comunicación (radio, televisión, escritos) y reuniones, entre otros.<br>**M:** Presentaciones realizadas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.3** Evaluar el impacto del alcance de la inundación por marejada ciclónica, marejadas generadas por frentes fríos y otros tipos de marejadas sobre la infraestructura general. | **1.** Identificar los geodatos: modelo de marejada ciclónica e infraestructura general (CRIM). | JP y DRNA | Indeterminable | Subvenciones de NOAA, fondos del Congreso y fondos del gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Geodatos identificados.<br>**M:** Identificación de geodatos completada. |
| | **2.** Calcular y analizar la infraestructura en exposición por el alcance de una inundación por marejada ciclónica (categorías 1, 2, 3, 4 y 5). | | | | | **R:** Informe y mapas sobre la evaluación.<br>**M:** Cálculos y análisis de exposición realizados. |
| | **3.** Presentación de hallazgos a todos los sectores en medios de comunicación y reuniones. | | | | | **R:** Presentaciones de los hallazgos a los sectores a través de los medios de comunicación (radio, televisión, escritos) y reuniones, entre otros.<br>**M:** Hallazgos presentados. |
| **E.1.4** Evaluar el impacto del alcance de la inundación por marejada ciclónica, marejadas generadas por frentes fríos y otros tipos de marejadas sobre la infraestructura crítica. | **1.** Identificación de geodatos: modelo de marejada ciclónica e infraestructura crítica. | JP y DRNA | Indeterminable | Subvenciones de NOAA, fondos del Congreso y fondos del gobierno de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Geodatos identificados.<br>**M:** Identificación de geodatos completada. |
| | **2.** Cálculo y análisis de la infraestructura crítica en exposición por el alcance de la inundación por marejada ciclónica (categorías 1, 2, 3, 4, y 5). | | | | | **R:** Informe y mapas sobre la evaluación.<br>**M:** Cálculos y análisis de exposición realizados. |
| | **3.** Presentación de los hallazgos a todos los sectores a través de medios de comunicación y reuniones. | | | | | **R:** Presentaciones de los hallazgos a los sectores a través de medios de comunicación (radio, televisión, escritos) y reuniones, entre otros.<br>**M:** Hallazgos presentados. |

**COA E.2: Identificar un presupuesto recurrente para mantener en revisión de manera proactiva los geodatos que alimentarán los bancos de datos que se utilizan para evaluar el impacto de las manifestaciones del cambio climático sobre la costa.**

**Mejores prácticas:**

- *National Flood Hazard Layer.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/data/flood.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.1** Mantener actualizados los geodatos con la información más reciente y validada sobre los impactos de las manifestaciones del cambio climático en la isla. | **1.** Identificar fondos recurrentes para la revisión y el robustecimiento de los geodatos de acidificación oceánica, el alcance de la inundación costera, la erosión costera, infraestructura general, infraestructura crítica, barreras naturales y estructuras de mitigación, entre otras. | JP, DV y DRNA | $4 millones anuales | NOAA, USGS, Departamento de la Vivienda (federal y estatal), Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (USFWS), EPA, USDOT y otras subvenciones federales | Mediano plazo | **R:** Fondos disponibles.<br>**M:** Fondos identificados.<br><br>**R:** Geodatos revisados y al día.<br>**M:** Datos revisados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.2** Conocer la distribución espacial de las amenazas asociadas al cambio climático (aumento del nivel del mar, marejadas ciclónicas, marejadas producidas por frentes de frío y otros tipos de marejadas) para Puerto Rico. | **1.** Revisar y analizar el banco de datos geoespaciales que incluya geodatos asociados a las amenazas del cambio climático.<br>**a.** Robustecer el banco de datos geoespacial de amenazas asociadas al cambio climático.<br>**b.** Identificar y evaluar los geodatos necesarios para ampliar el banco de datos.<br>**c.** Actualizar los geodatos y extraer nuevos geodatos que no estén disponibles.<br>**d.** Generar metadatos según el formato del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para todos los geodatos.<br>**e.** Publicar el banco de datos en un geoportal o mapa interactivo donde todos los sectores tengan acceso a la información. | JP | Indeterminable | Subvenciones federales tales como la Administración Federal de Carreteras, NOAA, USGS, NASA, EPA | Corto y mediano plazo | **R:** Publicación del mapa interactivo de las amenazas asociadas al cambio climático en la zona costanera de Puerto Rico.[7]<br>**M:** Geodatos de amenazas identificados.<br><br>**R:** Contabilización de las visitas al portal interactivo.<br>**M:** Visitas contabilizadas. |
| **E.2.3** Actualizar el alcance de la inundación costera definida por el *Flood Insurance Rate Map* (FIRM). | **1.** Actualizar los mapas de inundación. | JP | Indeterminable | FEMA | Corto plazo | **R:** Publicación de los nuevos mapas de inundación.<br>**M:** Datos actualizados. |

[7] El mapa interactivo incluye geodatos más recientes de: 1) proyecciones de aumento del nivel del mar local; 2) alcance de inundación de marejada ciclónica; 3) erosión costera; 4) alcance de inundación por marejadas invernales; 5) alcance de inundación por oleaje asociado a sistemas ciclónicos; 6) acidificación de los océanos; 7) otras. Cada geodato se revisará a partir de sus características de cambios en la región.

## F. Proponer un sistema de indicadores e índices que aporten información objetiva para establecer políticas y estrategias para corregir, mitigar y prevenir los efectos del cambio climático en el litoral.

### COA F.1: Identificar el grado de exposición y vulnerabilidad total de la población, infraestructuras y componentes costeros ante los efectos del cambio climático.

**Mejores prácticas:**

- *FEMA National Risk Index Social Vulnerability Index.* https://hazards.fema.gov/nri/social-vulnerability

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Identificar el grado de exposición total (social, física y de infraestructura) de la población, infraestructuras y componentes costeros en la zona costanera ante los efectos del cambio climático. | **1.** Robustecer y actualizar el índice de exposición total (social, física y de infraestructura) para los 44 municipios costeros.<br>**a.** Diseñar el índice a base de los datos más recientes de la Encuesta de la Comunidad, datos de erosión costera, inundabilidad costera y aumento del nivel del mar.<br>**b.** Implantar el índice usando técnicas geoespaciales.<br>**c.** Preparar un análisis sobre los índices de exposición total para identificar las zonas prioritarias de exposición.<br>**d.** Informar a los tomadores de decisiones para el desarrollo de política pública dirigida a reducir la exposición.<br>**e.** Identificar COA basados en los hallazgos de los análisis de los índices. | NMEAD y JP | $2.5 millones | *National Science Foundation* (NSF)<br>NOAA, EPA, fondos del Congreso y FEMA | Mediano plazo | **R:** Mapas de exposición.<br>**M:** Actualización de los índices de exposición para los 44 municipios.<br>**R:** Presentación de los hallazgos a los sectores.<br>**M:** Hallazgos completamente presentados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.2** Identificar el grado de vulnerabilidad total (social, física e infraestructura) de la población, infraestructuras y componentes costeros en la zona costanera ante los efectos del cambio climático | **1.** Robustecer el índice de vulnerabilidad total (social, física e infraestructura) para los 44 municipios costeros.<br>**2.** Actualizar el índice a base de los datos más recientes de la Encuesta de la Comunidad, datos de erosión costera, inundabilidad costera y aumento del nivel del mar.<br>**3.** Implantar el índice de vulnerabilidad total usando técnicas geoespaciales.<br>**4.** Preparar un análisis sobre los índices para identificar las zonas prioritarias con vulnerabilidad total (social, física e infraestructura).<br>**5.** Someter información a los tomadores de decisiones para el desarrollo de política pública dirigida a reducir la vulnerabilidad total.<br>**6.** Identificar COA basados en los hallazgos de los análisis de los índices.<br>Colaboradores potenciales: Otras organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que apliquen. | JP, DV y NMEAD | $1.2 millones | *National Science Foundation* (NSF)<br>NOAA, EPA, fondos del Congreso y FEMA | Mediano plazo | **R:** Mapas de exposición.<br>**M:** Índices de vulnerabilidad actualizados y hallazgos presentados a los sectores. |

## G. Atender con prioridad la erosión costera e implantar estrategias de mitigación, adaptación y resiliencia como una alternativa para reducir la vulnerabilidad a otras manifestaciones del cambio climático como son las marejadas ciclónicas, marejadas producidas por frentes de frío y otros tipos de marejadas, inundaciones y el aumento del nivel del mar.

### COA G.1: Establecer el uso de infraestructura natural como primera opción para mitigar los problemas en las áreas con erosión costera.[8]

**Mejores prácticas:**

- *Natural infrastructure focus of coastal journal.* https://asbpa.org/2017/12/29/natural-infrastructure-focus-of-coastal-journal/
- *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management.* https://oceanservice.noaa.gov/news/sep21/nature-based-flood-management.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.1.1** Fomentar y usar la infraestructura natural como primera opción para mitigar la erosión costera. | **1.** Presentar una orden ejecutiva estableciendo el uso de la infraestructura natural como primera opción para mitigar la erosión costera. | Oficina del Gobernador | Nominal | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Orden ejecutiva aprobada.<br>**M:** Orden ejecutiva implantada al 75 %. |
| | **2.** Presentar un proyecto de ley estableciendo el uso de la infraestructura natural como primera opción para mitigar la erosión costera. | DRNA, Asamblea Legislativa, Gobernador | | Asamblea Legislativa | | **R:** Presentación y aprobación del proyecto de ley.<br>**M:** Ley aprobada. |
| | **3.** En la presentación de propuestas de instalación de estructuras de mitigación es requisito incluir el plan de mantenimiento de la estructura que se instale y el proceso de remoción de la estructura de mitigación cuando ya no cumpla sus funciones. | DRNA y OGPe | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** Inserción de cláusula en la propuesta.<br>**M:** Cumplimiento con la inclusión de la cláusula en los permisos emitidos. |
| | **4.** Identificar fondos para apoyar la instalación de esta alternativa de mitigación. | Agencias de la Rama Ejecutiva y municipios | | Subvención federal (NOAA, Transportación) | | **R:** Fondos obtenidos.<br>**M:** El 100 % de las propuestas aprobadas. |

[8] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructuras (sección 7.2). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA G.2: Establecer el uso de infraestructura híbrida como segunda opción para mitigar el problema en las áreas con erosión costera.**

**Mejores prácticas:**

- *Natural infrastructure focus of coastal journal.* https://asbpa.org/2017/12/29/natural-infrastructure-focus-of-coastal-journal/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.2.1** Fomentar y usar la infraestructura híbrida como segunda opción para mitigar la erosión costera. | **1.** Presentar un proyecto de ley estableciendo el uso de la infraestructura híbrida como segunda opción para mitigar la erosión costera. | Gobernador y Asamblea Legislativa | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Presentación y aprobación del proyecto de ley.<br>**M:** Ley aprobada. |
| | **2.** En la presentación de propuestas de instalación de estructuras de mitigación es requisito incluir el plan de mantenimiento de la estructura a instalar y el proceso de remoción de la estructura de mitigación cuando ya no cumpla sus funciones. | DRNA | | | | **R:** Inserción de la cláusula en la propuesta.<br>**M:** Cumplimiento con la inclusión de la cláusula en los permisos emitidos. |

**COA G.3: Establecer el uso de infraestructura dura o gris como última opción para mitigar el problema en las áreas con erosión costera.**

**Mejores prácticas:**

- *The grey – green spectrum: A review of coastal protection interventions.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722003978

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.3.1** Fomentar el uso de la infraestructura dura como última opción para mitigar la erosión costera. En caso de que se use esta infraestructura dura, garantizar que se realicen evaluaciones rigurosas del impacto ambiental antes de construirla. Explorar materiales y diseños innovadores y menos invasivos que se combinen con el paisaje natural. | **1.** Presentar un proyecto de ley u orden ejecutiva estableciendo el uso de la infraestructura dura como última opción para mitigar la erosión costera. | Gobernador y Asamblea Legislativa | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Presentación y aprobación del proyecto de ley.<br>**M:** Ley aprobada. |
| | **2.** Presentar los impactos de la infraestructura dura para mitigar la erosión tales como paredes y rocas, entre otras, sobre la morfología costera. | DRNA | $300,000 | NSF (*Coastal and People Program*); USACE | Mediano plazo | **R:** Publicación de las guías de impactos de la infraestructura dura en Puerto Rico.<br>**M:** Impactos identificados. |
| | **3.** Publicar en internet una lista de los permisos otorgados para realizar proyectos de mitigación de erosión costera. | DRNA | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** Publicación digital de las listas de permisos.<br>**M:** Lista realizada. |
| | **4.** En la presentación de propuestas de instalación de estructuras duras para la mitigación es requisito incluir el plan de mantenimiento de la estructura que se instalará y el proceso de remoción de la estructura cuando ya no cumpla sus funciones. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Inserción de la cláusula en la propuesta.<br>**M:** Cumplimiento con la inclusión de la cláusula en los permisos emitidos. |
| | **5.** Las intervenciones con estructuras duras tales como espigones, rocas y paredes deben ser la última opción utilizada para la protección y adaptación. | DRNA | Indeterminable | DRNA | Corto plazo | **R:** No utilización de infraestructura dura como alternativa de mitigación.<br>**M:** Cumplimiento de la acción. |

**COA G.4: Proteger, adaptar y reubicar, según aplique, la infraestructura vial en zonas costeras afectadas por erosión costera.[9]**

**Mejores prácticas:**

- *U.S. Climate Resiliency Toolkit.* https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion
- *Federal Highway Administration (FHWA) research and technical assistance.* https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/
- *EPA Coastal Resiliency tools.* https://www.epa.gov/green-infrastructure/coastal-resiliency

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.4.1** Proteger la infraestructura vial de la erosión costera y de las inundaciones. | **1.** Identificar la infraestructura vial afectada por la erosión y las inundaciones costeras. Esa información debe estar apoyada por la mejor información disponible proveniente de herramientas diversas, incluyendo cartografías, entre otras. | ACT y DTOP | Indeterminable | Administración Federal de Transportación y Gobierno de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Lista de la infraestructura vial afectada.<br>**M:** Proyectos para levantar secciones de carreteras en la **zona costanera (ZC)** identificados.<br>**M:** Proyectos para proteger secciones de carreteras en la ZC identificados. |
| | **2.** Proteger y adaptar la infraestructura vial ubicada en áreas afectadas por la erosión y la inundación costera dentro de la zona costanera.<br>**a.** Colocar infraestructura natural como dunas y vegetación, entre otras, para proteger la carretera, según sea adecuado para la zona.<br>**b.** Levantar secciones de carreteras ubicadas en las zonas de amenazas. | ACT y DTOP | Indeterminable | Administración Federal de Transportación | Largo plazo (15 años) | **R:** Proyectos de relocalización de segmentos de carreteras completados.<br>**M:** Protección y adaptación realizada. |

[9] Este es un tema transversal que incide en los sectores de transportes y movilidad (sección 7.3) y turismo (sección 7.10). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA G.5: Adaptar o relocalizar unidades de infraestructura crítica que están ubicadas en las zonas de erosión costera, aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica y otros tipos de marejadas.**[10]

**Mejores prácticas:**

- *U.S. Climate Resiliency Toolkit.* https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion
- *NOAA Office for Coastal Management.* https://coast.noaa.gov/
- *EPA Coastal Resiliency tools.* https://www.epa.gov/green-infrastructure/coastal-resiliency
- *FEMA Coastal Construction Manual.* https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema55_voli_combined.pdf
- *Phase I - Sea Level Rise Adaptation Review of Design Criteria for Coastal Infrastructure in Puerto Rico.* https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/05/SLR_AdaptationReviewForCoastalInfrastructureInPR_20150930.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.5.1** Proteger y adaptar la infraestructura crítica construida que es afectada por la erosión costera, el aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica y otros tipos de marejadas. | **1.** Identificar la infraestructura crítica en riesgo. | ACT, DRNA, DDEC (Compañía de Turismo), AEE, AAA y DE | $2 millones | Subvenciones federales<br>NOAA<br>FEMA | Corto plazo | **R:** Prioridades para la protección y adaptación identificadas.<br>**M:** Inventarios completados. |
| | **2.** Adaptar o relocalizar las unidades de infraestructura crítica que están ubicadas en zonas de erosión costera. | AEE, AAA, ACT, DRNA, DDEC, DE y municipios | | | Largo plazo (10 años) | **R:** Presentación del plan de adaptación y relocalización.<br>**M:** El 80 % de las unidades adaptadas o relocalizadas. |
| | **3.** Verificar las condiciones actuales de todas las estructuras de mitigación duras (formales e informales) tales como espigones (*groyne*), revestimientos, paredes y rocas (*rip-rap*) con el propósito de identificar cuáles no rinden ya su función de proteger la infraestructura crítica. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Implantación del plan.<br>**M:** Condiciones verificadas. |
| | **4.** Realizar inspecciones mandatorias de la infraestructura en toda la franja costera en un período recurrente cada 10 años. | JP, municipios autónomos | | | Largo plazo (primera revisión en 10 años y luego recurrente) | **R:** Inspecciones completadas.<br>**M:** El 100 % de las inspecciones realizadas en 10 años y continuidad de las inspecciones. |

[10] Este es un tema transversal que incide en los sectores de infraestructuras (sección 7.2), transportes y movilidad (sección 7.3) y turismo (sección 7.10). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA G.6: Diseñar e implantar procedimientos claros para mitigar la erosión costera.**

**Mejores prácticas:**

- *Adaptation Clearinghouse: An online database and networking site that serves policymakers and others who are working to help communities adapt to climate change.* https://www.adaptationclearinghouse.org
- *U.S. Climate Resiliency Toolkit*. https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.6.1.** Establecer procedimientos claros y estandarizados sobre el manejo del problema de erosión costera. | **1.** Diseñar un protocolo estandarizado para el manejo de la erosión costera. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Publicación del protocolo de erosión costera (OE 2023-09).<br>**M:** Diseño del protocolo realizado. |
| | | | | | | **R:** Utilización de los índices de vulnerabilidad en la toma de decisiones.<br>**M:** Índices identificados. |
| | **2.** Integrar el uso de índices de exposición y vulnerabilidad total (social y física) para priorizar y tomar decisiones sobre la asignación de fondos con el objetivo de atender el problema de erosión costera. | OGPe, DRNA, JP, DE, AEE, AAA, Autoridad de los Puertos, DV y municipios | | | Corto plazo | **R:** Índices de uso y vulnerabilidad integrados e implantados.<br>**M:** Índices de uso y vulnerabilidad integrados e implantados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.6.1.** Establecer procedimientos claros y estandarizados sobre el manejo del problema de erosión costera. | **3.** Revaluar los criterios y procedimientos de asignación de permisos de emergencias para el manejo de la erosión costera. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Corto plazo | **R:** Publicación de los criterios para asignar los permisos.<br>**M:** Criterios y procedimientos evaluados y aprobados. |
| | **4.** En caso de aprobar el uso de infraestructura dura como opción para mitigar la erosión como parte de un permiso de emergencia, incluir el pago de un depósito o garantía que cubra la remoción de esta estructura en caso de su destrucción. | | | | Corto plazo | **R:** Establecimiento del proceso de depósitos o garantías.<br>**M:** Pagos recibidos. |
| | **5.** En caso de aprobar el uso de infraestructura dura como opción para mitigar la erosión como parte de un permiso de emergencia, los propietarios tendrán la responsabilidad de cubrir los costos de mantenimiento de la infraestructura. | | | | Mediano plazo | **R:** Aprobación de la estrategia.<br>**M:** Estrategia implantada. |
| | **6.** Mantener un banco de datos actualizado en la plataforma geoespacial de permisos de emergencia concedidos por el DRNA. | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Publicación del banco de datos de permisos de emergencia concedidos por el DRNA.<br>**M:** Banco de datos actualizado continuamente. |

## COA G.7: Incluir la erosión costera como una de las amenazas reconocidas en la lista oficial del gobierno de Puerto Rico.

**Mejores prácticas:**

- *Adaptation Clearinghouse: An online database and networking site that serves policymakers and others who are working to help communities adapt to climate change.* https://www.adaptationclearinghouse.org
- Coastal Erosion U.S. Climate Resilience Toolkit. https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.7.1** Reconocer la erosión costera como una amenaza prioritaria para Puerto Rico. | **1.** Clasificar la erosión costera como amenaza en el Plan Estatal de Mitigación de Peligros Naturales de Puerto Rico, requerido por la Ley Robert T. Stafford de Ayuda en Desastres y Asistencia en Emergencias. | NMEAD, COR3 y Rama Ejecutiva | Indeterminable | NMEAD | Corto plazo | **R:** Plan con inclusión del diagnóstico de la erosión costera en los instrumentos de planificación del país.<br>**M:** Inclusión completada. |

## COA G.8: Realizar diagnósticos actualizados del estado de la erosión de las costas de Puerto Rico.

**Mejores prácticas:**

- (PR) El estado de las playas de Puerto Rico Post-María. https://storymaps.arcgis.com/stories/61653d2d9a1748168488235d866f3e89
- *PR Shoreline Changes Compilation.* https://www.usgs.gov/data/puerto-rico-shoreline-change-a-gis-compilation-shorelines-baselines-intersects-and-change
- *Best Management Practices, Erosion, Residual Woody Biomass, and Soil Disturbances Within Biomass and Conventional Clearcut Harvests in Virginia's Coastal Plain.* https://academic.oup.com/forestscience/article/69/2/200/6885414?login=false
- *Hazard Assessment and Modeling of Erosion and Sea Level Rise under Global Climate Change Conditions for Coastal City Management.* https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000593

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.8.1** Actualización de los mejores datos e información sobre el estado de la erosión costera. | **1.** Actualizar con frecuencia los geodatos de los cambios de líneas de costas y ancho de playa para estar al día en cuanto al estado de la erosión costera. | DRNA | $1.6 millones cada 2 años | USGS, NOAA, NASA, NSF, FEMA | Corto plazo | **R:** Publicación de los datos sobre la erosión costera cada dos años o luego del impacto de un huracán.<br>**M:** Geodatos actualizados. |

**COA G.9: Exigir una fianza para demoler y disponer de estructuras abandonadas.**

**Mejores prácticas:**

- *Demolition of neglected properties.* https://localhousingsolutions.org/housing-policy-library/demolition-of-neglected-properties/
- *Building Demolition*. https://www.codepublishing.com/WA/Tumwater/html/Tumwater15/Tumwater1550.html

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.9.1** Establecer e implantar regulaciones dirigidas a exigir fianza para demoler y disponer de estructuras abandonadas. | **1.** Establecer regulación para definir la fianza. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Regulación implantada.<br>**M:** Desarrollo de las regulaciones completo. |

**COA G.10: Proveer sistemas de alcantarillado sanitario a comunidades existentes establecidas cerca de la costa que carecen de este servicio.**

**Mejores prácticas:**

- *Small and Rural Wastewater Systems.* https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.10.1** Construir sistemas de alcantarillado sanitario en las comunidades establecidas cerca de la costa donde exista la necesidad. | **1.** Identificar las comunidades establecidas cerca de la costa donde se construirán los sistemas de alcantarillado sanitario por prioridad de necesidad. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico y EPA | Mediano plazo | **R:** Establecimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario.<br>**M:** El 85 % de los sistemas construidos en seis años. |

## COA G.11: Reubicación de manera planificada de comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables a los efectos del cambio climático.

**Mejores prácticas:**

- *FEMA Efforts Advancing Community-Driven Relocation.* https://www.fema.gov/fact-sheet/fema-efforts-advancing-community-driven-relocation
- *Climate Resilience Implementation Guide Community Driven Relocation*. https://files.hudexchange.info/resources/documents/Climate-Resilience-Implementation-Guide-Community-Driven-Relocation.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **G.11.1** Poner en marcha un protocolo de reubicación planificada. | **1.** Implantar el protocolo. | DV | Indeterminable | HUD y FEMA | Largo plazo (15 años) | **R:** Reubicación de las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables a los efectos del cambio climático.<br>**M:** Reubicación del 90 % de dichas comunidades en 15 años. |

## H. Dirigir esfuerzos de restauración de los arrecifes de coral y otros hábitats críticos para la construcción de servicios de los ecosistemas.

### COA H.1: Incrementar los proyectos de restauración con soluciones basadas en la naturaleza.

**Mejores prácticas:**

- *Climate and Economic Justice Screening Tool.* https://screeningtool.geoplatform.gov/en/#12.66/43.46622/-125.02285
- *Naturally Resilient Communities.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/training/nrc.html
- *Nature-based solutions resource guide.* https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/Nature-Based-Solutions-Resource-Guide-2022.pdf
- *Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales.* https://coastalscience.noaa.gov/data_reports/coral-reef-restoration-monitoring-guide-methods-to-evaluate-restoration-success-from-local-to-ecosystem-scales/
- *Nature-Based Solutions for Coastal Hazards.* https://coast.noaa.gov/digitalcoast/training/green.html
- *A modeling application of integrated nature-based solutions (NBS) for coastal erosion and flooding mitigation in the Emilia-Romagna coastline (Northeast Italy).* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722084613

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Incrementar los proyectos de restauración de arrecifes de coral con soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés). | **1.** Continuar apoyando los esfuerzos de restauración de corales que están en curso y expandirlos a otras áreas geográficas. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable y subvenciones federales y de fundaciones: *National Wildlife Federation*, NOAA, *Climate Ready Coast Program, The Ocean Foundation* | Corto plazo | **R:** Informe de la evaluación de las áreas para expandir los proyectos.<br>**M:** Evaluación de las iniciativas de restauración de arrecifes realizada. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Incrementar los proyectos de restauración de arrecifes de coral con soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés). | **2.** Identificar y evaluar ejemplos de trabajos de restauración realizados con evidencia publicados en la literatura científica para diseñar y realizar proyectos. | DRNA y JP | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable y subvenciones federales y de fundaciones<br>*National Wildlife Federation*, NOAA, *Climate Ready Coast Program*, *The Ocean Foundation* | Corto plazo | **R:** Lista de lugares a mitigar por orden de prioridad. |
| | | | | | Mediano plazo | **R:** Informe de evaluación de la viabilidad de los proyectos.<br>**R:** Presentación de propuestas de proyectos de restauración. |
| | | | | | Mediano plazo | **M:** Evaluaciones y propuestas realizadas. |
| | **3.** Seleccionar las áreas geográficas a mitigar a base de las zonas con mayor exposición y vulnerabilidad identificadas por estudios previos. | DRNA | Indeterminable | NOAA, *The Ocean Foundation* | Mediano plazo | **R:** Lista de las áreas a mitigar.<br>**M:** Áreas identificadas. |
| | **4.** Evaluar la viabilidad de los proyectos a nivel de la reglamentación estatal y federal (DRNA, NOAA, USACE, USGS) y solicitar los permisos. | | | | Mediano plazo | **R:** Permisos obtenidos.<br>**M:** Evaluación gestionada con las agencias correspondientes. |
| | **5.** Identificar los proyectos puntuales de restauración de arrecifes y los beneficios de reducción de riesgos que generan. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable<br>Subvenciones federales<br>NOAA, *The Ocean Foundation,* FEMA, USFWS | Corto plazo | **R:** Presentación de los proyectos.<br>**M:** Proyectos identificados. |
| | **6.** Desarrollar los proyectos de restauración identificados. | | | | Mediano plazo<br>Largo plazo (10 años) | **R:** Proyectos desarrollados.<br>**M:** El 70 % de los proyectos desarrollados.<br>**M:** Proyectos desarrollados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.1.1** Incrementar los proyectos de restauración de arrecifes de coral con soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés). | **7.** Evaluar la viabilidad de implantar proyectos de crecimiento de coral duro aplicando campos eléctricos, en conjunto con la academia y ONG. Tener en cuenta los efectos de estos métodos en la acidificación oceánica y la constitución estructural del coral en crecimiento. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable<br>Subvenciones federales<br>NOAA, *The Ocean Foundation,* FEMA, USFWS | Corto plazo<br>Mediano plazo | **R:** Informe de hallazgos y recomendaciones presentado.<br>**M:** Evaluación completada . |
| **H.1.2** Incrementar los proyectos de restauración de hierbas marinas con NBS. | **1.** Evaluar ejemplos de trabajos realizados con evidencia publicados en la literatura científica para diseñar proyectos locales. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable<br>Subvenciones federales y de fundaciones | Corto plazo | **R:** Lista de trabajos publicados.<br>**M:** Revisión y evaluación de literatura científica completada. |
| | **2.** Evaluar la viabilidad de realizar estudios piloto para la integración de proyectos que incluyan dunas construidas con material biodegradable que mimetiza las dunas naturales. Esto es para mejorar las áreas de praderas de hierbas marinas, las cuales pueden amortiguar las olas. | DRNA | | | Corto a mediano plazo | **R:** Selección del estudio piloto (área).<br>**M:** Estudios de viabilidad completados. |
| **H.1.3** Incrementar los proyectos de restauración de dunas con NBS. | **1.** Apoyar la continuidad de los proyectos de restauración de dunas.<br>**2.** Apoyar el mantenimiento de los proyectos de restauración de dunas realizados. | DRNA y Rama Ejecutiva | Indeterminable | *National Wildlife Federation,* NOAA | Mediano plazo<br>Mediano a largo plazo (continuo) | **R:** Obtención de fondos y acuerdos de entendimiento.<br>**M:** Continuación del apoyo. |
| **H.1.4** Incrementar los proyectos de restauración de manglares con NBS. | **1.** Apoyar la continuidad de los proyectos de restauración de mangles e identificar nuevas zonas a restaurar. | DRNA | Indeterminable | NOAA | Mediano plazo | **R:** Lista de nuevas zonas a restaurar presentada.<br>**M:** Plan de apoyo a proyectos realizado.<br>**M:** Fondos identificados. |

## COA H.2: Establecer un plan integral de manejo de arrecifes, hierbas marinas, mangles y playas de Puerto Rico.

**Mejores prácticas:**

- *Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales.* https://coastalscience.noaa.gov/data_reports/coral-reef-restoration-monitoring-guide-methods-to-evaluate-restoration-success-from-local-to-ecosystem-scales/
- Vaughan, D. E. (2021). *Active coral restoration: Techniques for a changing planet. J. Ross Publishing, Inc.*
- *A Manager's Guide to Coral Reef Restoration Planning and Design.* https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/27219
- *Action Plan for Restoration of Coral Reef Coastal Protection Services: Case study example and workbook.* https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=544353&Lab=CPHEA

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.2.1** Formalizar acuerdos para la restauración de arrecifes de coral. | **1.** Crear un comité que incluya organizaciones e investigadores en la academia que estén realizando proyectos de restauración de arrecifes de coral. El comité tendrá entre sus tareas evaluar los planes estatales, regionales y federales existentes para preparar un plan integral nacional de la restauración de los arrecifes de coral de Puerto Rico. Se recomienda que esta iniciativa se haga de la mano de la Sociedad Ambiente Marino y el Centro para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, u otras organizaciones. | DRNA - Programa de Conservación y Manejo de Arrecifes de Coral de Puerto Rico | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Comité formado.<br>**M:** Miembros del comité seleccionados. |
| | **2.** Revisar todos los planes estatales y regionales relacionados con la restauración de los arrecifes de coral en Puerto Rico para atemperarlos al P-MARCC. | | | | | |
| | **3.** Realizar una evaluación comprensiva del estado de los arrecifes de coral en el archipiélago de Puerto Rico. | | | Subvenciones federales:<br>NOAA<br>EPA<br>FEMA | Mediano plazo | **R:** Informe de evaluación presentado.<br>**M:** Evaluación completada. |
| | **4.** Publicar el Plan Integral de Acción Nacional para la Restauración de Arrecifes de Coral de Puerto Rico. | | | Indeterminable | Mediano plazo | **R:** Plan publicado e implantado.<br>**M:** Plan desarrollado. |

**COA H.3: Implantar un programa de reforestación masiva para evitar la sedimentación de la zona costanera.[11]**

**Mejores prácticas:**

- *Tree Compatible Ground Covers for Reforestation and Erosion Control.* https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr-nrs-169papers/07-Chapter6_gtr-nrs-169.pdf
- *Assessing Carbon Offsetting Programs for the Puerto Rico Project Center.* https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/wp.wpi.edu/dist/e/203/files/2023/03/Carbon_Final_Report.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.3.1** Reforestar para reducir el flujo de sedimentos a los ecosistemas costeros. | **1.** Reforestar en las zonas que pudieran generar alta sedimentación que afecte los ecosistemas costeros. | DRNA | Indeterminable | Servicio Forestal y NOAA | Largo plazo (20 años) | **R:** Forestación de las áreas.<br>**M:** El 90 % de la forestación realizada en 20 años. |

**COA H.4: Fortalecer el Programa de Conservación y Manejo de Arrecifes de Coral de Puerto Rico del DRNA enfocado en el tratamiento de la enfermedad de tejido de coral duro (*Stony Coral Tissue Loss Disease*, SCTLD).**

**Mejores prácticas:**

- *Antibiotic Treatment Ameliorates the Impact of Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD) on Coral Communities.* https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.859740/full

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **H.4.1** Aumentar el alcance del programa de control de SCTLD. | **1.** Gestionar la obtención de fondos para fortalecer el programa. | DRNA | Indeterminable | NOAA | Corto plazo | **R:** Fortalecimiento del programa.<br>**M:** Fondos obtenidos. |

[11] Este es un tema transversal que incide en el sector de forestación y ecosistemas terrestres (sección 7.9). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

## I. Implementar planificación costera que se ocupe de la subida del mar, y dirigir el nuevo desarrollo a distancia de las costas, en conjunto con la Junta de Planificación.

### COA I.1: Establecer política pública para la Gestión Integrada en la zona costanera.

**Mejores prácticas:**

- *Manual 12. Manejo de las zonas costeras: Cuestiones concernientes a los humedales y manejo integrado de las zonas costeras* (manuales Ramsar para el uso racional de los humedales), 4ª edición, Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-12sp.pdf
- División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. "Programa 21: Capítulo 17. Protección de los océanos y de los mares de todo tipo; incluidos los mares cerrados y semicerrados, y de las zonas costeras; y protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos". https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter17.htm
- Justafré García, Y. (junio de 2012), "Consideraciones teórico-básicas sobre los actores sociales claves del manejo integrado de zonas costeras", *Desarrollo Local Sostenible, 5*(14). https://www.eumed.net/rev/delos/14/yjg.html#google_vignette

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.1.1** Definir una política para el manejo integrado de las zonas costeras que sea específica, dado que no existe a nivel estatal. Esta debe ser mucho más ambiciosa que la federal en sus pretensiones de conservación, más detallada en su formulación y abordada metodológicamente como política pública. | **1.** Desarrollar la metodología para atender aquellas singularidades del litoral puertorriqueño, que no puede responder a la escala federal por su naturaleza de escala espacial tan amplia. | DRNA-Programa de Manejo de la Zona Costanera (PMZC) | Indeterminable | Subvenciones: *Effects of Sea Level Rise* (ESLR) *Technical Assistance*: NOAA-NOS-NCCOS-2023-2007719 (https://www.grants.gov/search-results-detail/345078). Recurrente, anual, marzo.*Climate Program Office* (CPO), *Earth System Science and Modeling Research for Coastal Inundation*: NOAA-OAR-CPO-2023-2007559 | Largo plazo (10 años) | **R:** Informe de la metodología presentado.<br>**M:** Singularidades identificadas y metodología asociada desarrollada. |
| | **2.** Generar una Guía de manejo integrado de la zona costanera específica para Puerto Rico que permita ser implementada por funcionarios gubernamentales, grupos comunitarios y entidades privadas. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | DRNA, JP | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Publicación de la guía de manejo integrado de la zona costanera para Puerto Rico.<br>**M:** Desarrollo de la guía de manejo. |

**COA I.2: Definir la delimitación de una franja donde no se autoricen nuevas construcciones en terrenos con alcance de inundación producida por el aumento del nivel del mar, marejadas ciclónicas, oleaje ciclónico y otros tipos de marejadas, o con alcance de inundación mayor. Quedarán exentos de esta moratoria aquellos proyectos que por naturaleza estén atados a actividades acuáticas (ej. villas pesqueras), proyectos de mitigación, restauraciones ecológicas (con prioridades en soluciones basadas en la naturaleza: dunas, arrecifes de coral, manglares y otras restauraciones ecológicas) y actividades identificadas en la reglamentación federal 44 CFR Parte 80 (tales como parques para actividades recreativas al aire libre, reservas naturales, cultivos, pastoreo, áreas de acampar, exceptuando donde no haya tiempo de advertencia adecuado para desalojo en caso de emergencia, estacionamientos no pavimentados, zonas de amortiguamiento, manejo de humedales y actividades de mitigación, entre otras) u otra reglamentación federal. Esta franja tiene que ser evaluada por períodos debido a su dinamismo a través del tiempo.**

**Mejores prácticas:**

- Coastal Construction Line (CCCL) Map App. https://floodmaps.pinellascounty.org/pages/coastal-construction-control-line
- About the Coastal Construction Control Line (CCCL). https://daytonarealtors-92158.groovehq.com/help/about-the-coastal-construction-control-line-cccl
- Manual de delimitación de fronteras marítimas, División de Asuntos Oceánicos y del Derecho del Mar, Oficina de Asuntos Jurídicos, Naciones Unidas· Nueva York, 2001. https://www.un.org/depts/los/doalos_publications/publicationstexts/Handbook%20on%20the%20delimitation%20of%20maritime%20boundary_Spa.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.2.1** Delinear una franja desde donde no se permitan nuevas construcciones. | **1.** Delinear una franja desde donde no se permitan nuevas construcciones. Esta delimitación debe ser presentada y discutida entre todos los sectores. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | DRNA (PMZC) y JP | Indeterminable | Fondos propios de las agencias. Subvenciones: *Effects of Sea Level Rise* (ESLR) *Technical Assistance*: NOAA-NOS-NCCOS-2023-2007719 (https://www.grants.gov/search-results-detail/345078). *Climate Program Office* (CPO), *Earth System Science and Modeling Research for Coastal Inundation*: NOAA-OAR-CPO-2023-2007559 | Mediano plazo | **R:** Publicación de la línea desde donde no se permiten nuevas construcciones en la costa.<br>**M:** Estudios para delinear la franja realizados. |
| | **2.** Hacer vistas públicas sobre el borrador de la delineación de la franja antes de publicarlo. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | DRNA (PMZC) y JP | | | | **R:** Vistas públicas realizadas.<br>**M:** Convocatoria para vistas públicas completada. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.2.1** Delinear una franja desde donde no se permitan nuevas construcciones. | **3.** Revisar el Manual de procedimientos para el deslinde del límite interior tierra adentro de los bienes de dominio público marítimo terrestres del DRNA. | DRNA (PMZC) | Indeterminable | Fondos propios de las agencias. Subvenciones: *Effects of Sea Level Rise* (ESLR) *Technical Assistance*: NOAA-NOS-NCCOS-2023-2007719 (https://www.grants.gov/search-results-detail/345078). *Climate Program Office* (CPO), E*arth System Science and Modeling Research for Coastal Inundation*: NOAA-OAR-CPO-2023-2007559 | Mediano plazo | **R:** Manual revisado.<br>**M:** Revisión de los procedimientos realizada. |
| | **4.** Revisar el sistema de referencia oficial para el deslinde de bienes de dominio público en la zona marítimo terrestre del DRNA a base de nuevas calificaciones de aumento del nivel del mar y erosión costera. | | | | | **R:** Revisión completada.<br>**M:** Sistema de referencia revisado. |
| | **5.** Educar a los interesados sobre el establecimiento de esta franja donde no se permitirá construir. | | | | | **R:** Material educativo publicado.<br>**M:** Material educativo desarrollado. |
| | **6.** Evaluar la delimitación de esta franja por períodos debido a su dinamismo a través del tiempo - Monitoreo periódico. | | | | | **R:** Monitoreo establecido. Monitoreo a largo plazo en curso.<br>**M:** Evaluación completada. |

## COA I.3: Realizar un inventario de propiedades en las costas para gestionar la remoción y disposición de aquellas que están en estado de abandono en la zona marítimo terrestre.

**Mejores prácticas:**

- Se han realizado inventarios de propiedades en las costas, por ejemplo, en el municipio de Toa Baja bajo el Programa Municipal de Estorbos Públicos, apoyado por el Centro para la Reconstrucción del Hábitat. Ver detalles de este tipo de programas en el Centro para la Reconstrucción del Hábitat. https://www.crhpr.org/proyectos

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.3.1** Establecer con los municipios costeros un inventario de propiedades en la zona marítimo terrestre. | **1.** Robustecer en todos los municipios costeros la base de datos georreferenciada en un sistema de información geográfica del inventario de las propiedades en abandono que se encuentran en la zona marítimo terrestre. | DRNA (PMZC), JP, municipios costeros departamentos u oficinas de vivienda o planificación o de permisos y OGPe | Costo promedio por unidad $168.42. Se estima que este inventario podrá costar $72,757.44 | Fondos propios municipales, fondos propios de la Junta de Planificación y el DRNA | Corto plazo | **R:** Inventario terminado.<br>**M:** [(Número de propiedades inventariadas en la ZMT / Número de propiedades totales en la ZMT) × 100].<br>80 % o más: mediano plazo.<br>100 %: largo plazo (7 años). |
| | **2.** Desarrollar un acuerdo entre los municipios, el DRNA, la JP y OGPe que facilite ampliar el inventario y compartirlo. El CEACC será facilitador de este proceso. | | Costos operacionales de nómina | | Corto plazo | **R:** Acuerdo redactado y firmado.<br>**M:** Acuerdos realizados. |
| | **3.** Revisar los marcos legales y redactar las ordenanzas para evitar que se reconstruyan propiedades que están en estado de abandono en la zona marítimo terrestre. | | Costos operacionales de nómina | | Corto, mediano a largo plazo (10 años) | **R:** Marcos legales revisados y ordenanzas redactadas e implantadas.<br>**M:** Revisión de marcos legales y redacción de ordenanzas completados. |

**COA I.4: Reparto de competencias. Es necesario un modelo más integrado de gestión en la zona costanera. Para ello, la coordinación y la cooperación resultan fundamentales y debe promoverse un diálogo más fluido entre las diferentes administraciones públicas. Igual, deben crearse diferentes instancias como espacios de encuentro.**

**Mejores prácticas:**

- Modelos del Manejo Integrado de Zonas Costeras: Análisis Comparativo y Propuesta de Adopción para el Caso de Akumal (México). https://revistas.uca.es/index.php/costas/article/view/8938

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.4.1** Definir las competencias en este espacio y delinear las jurisdicciones de cada entidad pública sobre la zona costanera. | **1.** Desglosar las entidades públicas (federales, estatales y municipales) con jurisdicción sobre la zona costanera.<br>**2.** Evaluar las potestades y responsabilidades que tiene cada entidad. | DRNA (PMZC) | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Directorio final de las entidades con sus respectivas potestades y responsabilidades.<br>**M:** Evaluación de las entidades y de sus potestades y responsabilidades completada. |
| **I.4.2** Coordinación entre las diferentes entidades gubernamentales y académicas. | **1.** El PMZC debe auspiciar la coordinación, en la que estén representadas las tres escalas de gestión (federal, estatal y municipal), por lo cual podría facilitar la tan necesitada coordinación administrativa. | DRNA (PMZC) | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto a mediano plazo | **R:** Plan de desarrollo de protocolos.<br>**M:** Coordinación de entidades de las escalas de gestión realizada. |
| **I.4.3** Desarrollar protocolos elementales de coordinación y cooperación. | **1.** Crear convenios y acuerdos de entendimiento entre agencias e instituciones de educación superior. | DRNA (PMZC) | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable | Corto y mediano a largo plazo | **R:** Convenios y acuerdos finalizados y firmados.<br>**M:** Creación de convenios concretada. |

## COA I.5: Proponer la Ley de Gestión Integrada de la Zona Costanera.

**Mejores prácticas:**

- *Review of US Ocean and Coastal Law: The Evolution of Ocean Governance over three decades.* https://govinfo.library.unt.edu/oceancommission/documents/full_color_rpt/append_6.pdf
- *Senate Committee on Environment and Public Works.* https://www.epw.senate.gov/public/index.cfm/2022/12/carper-graham-introduce-bill-to-enhance-the-coastal-barrier-resources-system
- *Improving a decree law about coastal zone management in a small island developing state.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308597X18301830

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I.5.1** Crear la Ley de Gestión Integrada de la Zona Costanera de modo que la definición jurídica y administrativa de la zona costanera otorgue mayores facilidades operativas, permita que la sociedad civil y los instrumentos voluntarios estén más presentes, incluya los criterios de asignación y control de los recursos económicos y se regulen los diferentes órganos colegiados, entre otros aspectos. | **1.** Analizar y validar una línea base para crear la ley, lo que establece el apéndice B del documento PMZC de 1978. El apéndice expone la base legal que permite a Puerto Rico la gestión de los espacios, recursos marinos y costeros dentro del ámbito de jurisdicción, 1 km tierra adentro o distancias adicionales así designadas como reservas naturales (41 en total) y áreas de planificación especial (8 en total), todos los manglares, humedales y cuerpos de aguas interiores.<br><br>Colaborador potencial: Legislatura. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico | Mediano plazo | **R:** Convenios y acuerdos finalizados y firmados.<br><br>**M:** Creación de convenios concretada. |

## J. Identificar las áreas de alta biodiversidad y la cobertura de coral vivo para protección adicional, y ampliar las áreas protegidas existentes para incluir estas áreas.

**COA J.1: Apoyar iniciativas de inventarios y monitoreos a largo plazo de ecosistemas costeros como corales, humedales, hierbas marinas y playas para aumentar el nivel de protección de la zona costanera.**

**Mejores prácticas:**

- *Protocol: Seagrass Cover and Density* (2020). *Tennenbaum Marine Observatories.*
- *Network, MarineGEO, Smithsonian Institution.* https://marinegeo.github.io/assets/modules/seagrass-density/marinegeo_protocol_seagrass_density.pdf
- *A protocol for improving mapping and assessing of seagrass abundance along the West Central Coast of Florida using Landsat TM and EO-1 ALI/Hyperion images.* https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.06.008
- *Marine Biodiversity Observation Network (MBON).* https://ioos.noaa.gov/project/mbon/
- *NOAA Ocean Exploration Data Management.* https://www.ncei.noaa.gov/products/ocean-exploration-and-research-oer-data-management

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.1** Identificar la distribución, composición y extensión de los hábitats y de las comunidades de hierbas marinas. | **1.** Evaluar el estado de las praderas de hierbas marinas de acuerdo con la información disponible en la literatura (artículos científicos, informes, etc.). | DRNA | Indeterminable. | *CRCP State and Territorial Coral Reef Conservation Cooperative Agreements*: NOAA-NOS-2023-2007487. https://www.grants.gov/search-results-detail/343084 [...] | Corto plazo | **R:** Informe del estado de los ecosistemas de hierbas marinas.<br>**M:** Evaluación de la información existente sobre el estado de los ecosistemas de hierbas marinas completada. |
| | **2.** Identificar áreas en las que se hayan realizado inventarios en el pasado y establecerlas como prioridad para estudiar los cambios. | | Indeterminable | | Corto plazo | **R:** Informe de los inventarios disponibles de los ecosistemas de hierbas marinas.<br>**M:** Áreas con inventarios previos identificadas. |
| | **3.** Identificar y establecer las áreas con alto impacto antropogénico como prioridad de protección. | | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Informe de áreas identificadas.<br>**M:** Evaluación e identificación de las áreas de alto impacto completadas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.1** Identificar la distribución, composición y extensión de los hábitats y de las comunidades de hierbas marinas. | **4.** Realizar inventarios de praderas de hierbas marinas alrededor de toda la isla y de las comunidades de flora y fauna asociadas por regiones:<br>**a.** norte,<br>**b.** este,<br>**c.** oeste,<br>**d.** sur. | DRNA | Indeterminable | CRCP *State and Territorial Coral Reef Conservation Cooperative Agreements*: NOAA-NOS-2023-2007487. https://www.grants.gov/search-results-detail/343084<br>*Oceankind Technology Solutions for Seagrass* https://oceankind.org/wp-content/uploads/2022/09/RFP2022-seagrass-tech-2022-09-12.pdf<br>*National Wetland Program Development Grant Request for Applications* https://www.epa.gov/wetlands/national-wetland-program-development-grant-request-applications | Mediano a largo plazo (10 años) | **R:** Informe de los inventarios.<br>**M:** Por región: [(número de sitios inventariados / número de sitios totales a inventariar) × 100] superior o igual a 80 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **5.** Crear mapas de la distribución de las praderas de hierbas marinas de toda la isla. | | Indeterminable | | Mediano a largo plazo (10 años) | **R:** Mapas con la localización y extensión de las praderas de hierbas marinas.<br>**M:** Mapas creados. |
| | **6.** Desarrollar esfuerzos dirigidos a establecer programas de monitoreo continuo por regiones. | | Indeterminable | | Largo plazo (11 años) | **R:** Programas de monitoreo continuo establecidos.<br>**M:** Plan de monitoreo desarrollado. |
| | **7.** Establecer áreas para protección. | | Costos operacionales de nómina | | Largo plazo (11 años) | **R:** Áreas protegidas.<br>**M:** Identificación y establecimiento de las áreas para protección completados. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.1.2** Desarrollar programas de monitoreo continuo para áreas de ecosistemas costeros como corales, humedales, hierbas marinas y playas. | **1.** Establecer acuerdos entre la academia, agencias estatales y federales y ONG para desarrollar esfuerzos de monitoreo a largo plazo.<br>**2.** Identificar fuentes de fondos recurrentes para el monitoreo y evaluación continua de los sistemas. | DRNA | Indeterminable | *Marine Biodiversity Observation Network* (MBON). https://ioos.noaa.gov/project/mbon/ | Corto plazo<br>Mediano plazo<br>Largo plazo (continuo) | **R:** Acuerdos establecidos.<br>**M:** Desarrollo de los acuerdos.<br>**R:** Programas de monitoreo desarrollados.<br>**M:** Fuentes de fondos identificadas. |
| **J.1.3** Establecer una base de datos de acceso público que integre informes técnicos, artículos científicos, proyectos y acuerdos de colaboración en desarrollo, sobre estudios en ecosistemas costeros como corales, humedales, hierbas marinas y playas. | **1.** Establecer acuerdos entre la academia, agencias estatales y federales y ONG para desarrollar un programa de base de datos. | DRNA | Indeterminable | *NOAA Funding Data and Information* https://coast.noaa.gov/funding/data-information.html | Corto plazo | **R:** Acuerdos establecidos.<br>**M:** Identificación de entidades completada. |
| | **2.** Desarrollar el programa de base de datos. | | | | Mediano plazo | **R:** Programa de base de datos establecido.<br>**M:** Desarrollo de la base de datos completado. |
| | **3.** Identificar fuentes de fondos recurrentes para el mantenimiento de la base de datos. | | | | Largo plazo (continuo) | **R:** Programa de financiamiento en curso.<br>**M:** Fondos identificados. |

## COA J.2: Integrar a Puerto Rico al Corredor Biológico en el Caribe para proteger la flora y fauna marina.

**Mejores prácticas:**

- Corredor Biológico en el Caribe. https://cbcbio.org/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **J.2.1** Promover la participación de Puerto Rico en el Corredor Biológico en el Caribe. | **1.** Establecer un acuerdo para entrar al Corredor. | DRNA | Indeterminable | Costos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Acuerdo realizado.<br>**M:** Participación en 70 % de los eventos. |

**Tabla 7.9.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **forestación y ecosistemas terrestres**.

## A. Definir e implementar una gestión forestal que aumente la resistencia y resiliencia de las áreas verdes a los impactos del cambio climático.

### COA A.1: Caracterizar las condiciones ambientales prevalecientes en los ecosistemas y áreas forestales con énfasis en los ecosistemas y hábitats críticos.

**Mejores prácticas:**

Estrategias de manejo que utilizan como punto partida la caracterización de condiciones ambientales en los ecosistemas:

- P. Sauvé *et al.,* (2023). "*A need to better monitor the effects of coastal defense measures on coastal socio-ecological systems to improve future adaptation solutions". Ocean & Coastal Management, 239*, 106599.
- Y. Demir *et al.,* (2023). "*Determination of soil quality index in areas with high erosion risk and usability in watershed rehabilitation applications". Environmental Monitoring and Assessment, 195*(5), p. 572.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Caracterizar y describir las condiciones ambientales predominantes en los ecosistemas y hábitats críticos mediante el monitoreo continuo de parámetros ambientales. | **1.** Desarrollar un sistema de monitoreo ambiental uniforme con la información que proveen diversas agencias (estatales y federales) y organizaciones (públicas y privadas) sobre el monitoreo de condiciones ambientales y de parámetros químico / físicos en diversas zonas y áreas naturales en Puerto Rico. El desarrollo de un sistema uniforme de monitoreo ambiental continuo permite establecer caracterizaciones actualizadas sobre las condiciones prevalecientes y de escenarios de estrés en nuestros ecosistemas terrestres. Esto posibilita ser más efectivos al establecer gestiones ambientales y estrategias de mitigación, conservación y rehabilitación, en especial sobre los ecosistemas designados como críticos. | DRNA | $50,000 a 100,000 por área de monitoreo | Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico (DRNA)<br>Plan de Conservación de Hábitat, Servicio de Pesca y Vida Silvestre (FWS)<br>*Wildlife Habitat Incentives Program* (Departamento de Agricultura federal-USDA) | Mediano plazo | **R:** Sistema de monitoreo ambiental uniforme (base de datos) manejado por el DRNA a través de las reservas y refugios de vida silvestre y de los ecosistemas con designación de hábitat crítico.<br>**M:** Mapa interactivo que exponga en tiempo real e histórico datos sobre parámetros ambientales en los ecosistemas terrestres en las áreas descritas. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Caracterizar y describir las condiciones ambientales predominantes en los ecosistemas y hábitats críticos mediante el monitoreo continuo de parámetros ambientales. | **2.** Establecer instrumentación y equipos de monitoreo ambiental en áreas críticas donde hay vacíos de información. Estos pueden incluir, pero no se limitan a, estaciones meteorológicas con sensores para determinar parámetros microclimáticos a nivel de ecosistema, tales como: temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, entre otros. También se pueden incluir sensores que midan parámetros más puntuales en el ecosistema, tales como humedad del suelo y luz fotosintéticamente activa (PAR), entre otros. Recomendar sensores y equipos más especializados en ecosistemas con características específicas. Consultar con los expertos en la academia para la adquisición e instalación de los equipos. | DRNA | $50,000 a 100,000 por área de monitoreo | Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico (DRNA)<br>Plan de Conservación de Hábitat, Servicio de Pesca y Vida Silvestre (FWS)<br>*Wildlife Habitat Incentives Program* (Departamento de Agricultura federal-USDA) | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | **R:** Monitoreo ambiental a mediano plazo en áreas críticas sobre las que hay vacíos de información para mejorar el diagnóstico de las condiciones ambientales en los ecosistemas y hábitats críticos.<br>**M:** Adquisición completada a mediano y largo plazo, según la necesidad de equipos y sensores de monitoreo ambiental, y asignación de personal para instalar los sistemas de monitoreo en áreas críticas sobre las que no hay información disponible. |

**COA A.2: Desarrollar en los bosques y otras áreas verdes una gestión forestal adaptativa a los efectos del cambio climático, incluyendo los eventos extremos asociados.**

**Mejores prácticas:**

Políticas públicas que tomen en consideración los adelantos científicos del siglo XXI, al igual que el conocimiento práctico acumulado durante el siglo XX, para así crear las condiciones bajo las cuales se adopten prácticas efectivas que permitan reforestar a Puerto Rico. Las prácticas sugeridas están basadas en la experiencia del Servicio Forestal al reforestar a Puerto Rico en las décadas de 1940 a 1960 (véase en los anejos la **Guía de Reforestación para Puerto Rico**). La práctica de regeneración natural asistida se basa en el manual de *Conservation International* del mismo título.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Asegurar que la gestión forestal aumenta la adaptabilidad de los bosques y otras áreas verdes a los efectos del cambio climático, incluyendo los eventos extremos asociados. | **1.** Establecer y fomentar una política pública que favorezca la sucesión natural de árboles (sin intervención humana) considerando las especies presentes y la capacidad de la vegetación para organizarse utilizando la regeneración natural asistida y la protección de los bosques maduros. | DRNA | Costos de operación de la agencia | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Bosques más adaptados y resilientes ante eventos extremos y el cambio climático. Tales bosques no requieren reforestación.<br>**M:** Política pública establecida. |
| | **2.** Determinar la capacidad de los viveros en el país de producción por especies. | DRNA | $50,000 | Fondos propios de la entidad responsable en colaboración con el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA FS), estaciones experimentales y la academia. | Corto plazo | **R:** Facilita la planificación y la implantación de los programas de reforestación; mejora la certeza de los programas.<br>**M:** La capacidad de los viveros de producción por especies 100 % determinada. |
| | **3.** Desarrollar una nueva política pública de conservación de árboles, que tome en cuenta cuándo intervenir o no y que distinga los distintos entornos donde se ubican los bosques y los árboles (agrícola, rural y urbano). Establecer como base de la política pública el Plan de Uso de Terrenos y los reglamentos vigentes. En aquellas circunstancias donde se demuestre que una especie nativa es la especie apropiada para una reforestación o conservación, la misma tendrá prioridad sobre otras especies que sean menos apropiadas. | DRNA; Legislatura | $200,000 | Fondos propios del gobierno, incluidos de la JP | Mediano plazo | **R:** Menos conflictos en el uso de terrenos. Mejor dirección e implantación de los planes de reforestación. Bosques más sustentables y resilientes.<br>**M:** Política pública desarrollada e implantada. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Asegurar que la gestión forestal aumenta la adaptabilidad de los bosques y otras áreas verdes a los efectos del cambio climático, incluyendo los eventos extremos asociados. | **4.** Establecer por ley una corporación autónoma que utilice como modelo para su estructura y operación la Corporación para la Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan y la Corporación del Proyecto ENLACE del Caño Martín Peña, con la encomienda de reforestar a Puerto Rico usando la visión establecida en las estrategias del P-MARCC. La composición de la gobernanza de la corporación debe integrar a miembros *ex officio* que incluya a las agencias concernidas del gobierno estatal en colaboración con otras entidades como: la DRNA, el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (programa de *State, Private, and Tribal Forestry*, la biblioteca y el programa *Research and Development*), el Colegio de Agricultura del Recinto Universitario de Mayagüez de la UPR, la Estación Experimental Agrícola en Río Piedras y otras estaciones en la isla, el Centro para la Conservación del Paisaje, Para la Naturaleza (Programa de Viveros), Protectores de Cuencas, el Recinto de Aguadilla de la UPR (revegetación de dunas), el Recinto de Río Piedras de la UPR (vegetación urbana), el Departamento de Agricultura, Cafiesencia Puerto Rico, Distritos de Conservación de Suelos, el municipio de Caguas (programa *Tree City*) y el proyecto Génesis de la Universidad del Sagrado Corazón y la Universidad Ana G. Méndez (véase en los anejos la **Guía de reforestación para Puerto Rico**, para más detalles). | DRNA (desarrollar el borrador del proyecto de ley)<br><br>Legislatura (aprobación de la ley)<br><br>Gobernador (firma de la ley) | $100,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Menos conflictos en el uso de terrenos y mejoras en la dirección e implantación de los planes de reforestación.<br><br>**M:** Entidad establecida y en operación. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Asegurar que la gestión forestal aumenta la adaptabilidad de los bosques y otras áreas verdes a los efectos del cambio climático, incluyendo los eventos extremos asociados. | **5.** Desarrollar un programa para certificar a los departamentos de ornato de los municipios y asegurar que incluyen la conservación adecuada de los árboles y bosques urbanos. | DRNA | $50,000 | Fondos propios de la entidad responsable y subvenciones del USDA FS | Corto plazo | **R:** Asegurar que la reforestación urbana será profesional y duradera.<br>**M:** Programa desarrollado y en operación. |
| | **6.** Documentar la experiencia hasta el momento con la reforestación en Puerto Rico durante el siglo XXI, incluyendo la experiencia con especies nativas. Mantener al día el conocimiento adquirido. | DRNA | $50,000 | Fondos propios de la entidad responsable, colaboración con la academia y agencias técnicas como estaciones experimentales agrícolas | Corto plazo | **R:** Con más conocimiento se expanden las opciones de reforestación, particularmente en el número de especies disponibles para reforestar lugares particulares.<br>**M:** Experiencias documentadas al día. |

## B. Favorecer una gestión forestal que permita reducir el riesgo de incendios forestales y el aprovechamiento de las áreas forestales.

### COA B.1: Crear estrategias que minimicen el riesgo de incendios forestales y favorezcan el aprovechamiento de las áreas forestales.

**Mejores prácticas:**

Adoptar prácticas que reducen las posibilidades y la magnitud de los incendios forestales y a la vez impiden que los fuegos se escapen y afecten bosques sin adaptaciones a estos eventos. Estas prácticas son conocidas en los Estados Unidos. El Servicio Forestal federal tiene los recursos y la misión de aplicarlas en Puerto Rico. El manejo de los fuegos forestales por las agencias de Puerto Rico es más efectivo si se lleva a cabo en coordinación con el Servicio Forestal y con el DRNA. El Instituto Internacional de Dasonomía Tropical es la unidad del Servicio Forestal a la que se debe consultar para lograr esta coordinación. Igualmente, ambas agencias deben ser parte de los programas de educación pública diseñados para orientar a la ciudadanía sobre este asunto. La colaboración de universidades y de cadenas de radio y televisión debe explorarse.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Minimizar los fuegos forestales y educar a las personas para reducir las igniciones y apoyar las prácticas del gobierno sobre el manejo de fuegos. | **1.** Conducir quemas preventivas donde las probabilidades de fuego son mayores. | Bomberos de Puerto Rico | $1,500 por acre | Son costos operacionales de los dueños de terrenos; hay programas del DRNA, USDA FS y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) que subvencionan los costos; los Bomberos de Puerto Rico y el DRNA son responsables de los bosques públicos | Corto, mediano y largo plazo (11 años)<br>Anualmente, durante el período de sequía | **R:** Reducción en el número de incendios forestales; los incendios no se extienden por falta de combustible orgánico.<br>**M:** Contabilizar cuántos de los fuegos forestales ocurren en áreas sujetas a quemas preventivas o en lugares estratégicos previamente identificados para quemas preventivas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Minimizar los fuegos forestales y educar a las personas para reducir las igniciones y apoyar las prácticas del gobierno sobre el manejo de fuegos. | **2.** Manejar corredores como caminos, carreteras y veredas incluyendo la siembra, el control de la vegetación, la reducción de combustibles o el control de acceso. | DRNA | $2,000 por kilómetro | Son costos operacionales de los dueños de terrenos; hay programas del DRNA, USDA FS y NRCS que subvencionan los costos; los Bomberos de Puerto Rico y el DRNA son responsables de los bosques públicos | Corto, mediano y largo plazo (11 años), de manera continua, más intensamente durante sequías | **R:** Los incendios forestales se detienen al llegar a estos sitios, se reduce la expansión de los fuegos, y estos se pueden controlar más fácilmente y con menos costo.<br>**M:** Mantener un récord de los fuegos que se propagan por corredores, caminos, carreteras y veredas, particularmente en los sitios con historial de fuegos con o sin manejo preventivo. |
| | **3.** Conducir campañas de orientación y educación pública sobre los fuegos forestales y cómo prevenirlos.<br>Colaboradores potenciales: Universidad del Sagrado Corazón y las emisoras de radio y televisión. | DRNA | $100,000 anuales | Fondos públicos de las agencias como el DRNA, Bomberos y el DE | De manera continua, más intensamente durante las sequías | **R:** Las campañas de orientación y educación pública están activas comúnmente durante la época de sequía y presentes durante las épocas de lluvia. Con un público más alerta y mejor informado, disminuyen los incendios forestales.<br>**M:** Hacer sondeos para asegurar que el nivel de entendimiento y alerta del público mejoran con la campaña informativa. |
| | **4.** Expedir multas y exigir la restauración de la zona a las condiciones previas cuando se determine que la causa de un fuego forestal fue criminal (los bomberos determinan la causa y los vigilantes hacen cumplir la ley). | Cuerpo de Bomberos y Cuerpo de Vigilantes (DRNA) | Indeterminable | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo (continuo) | **R:** Reducción de incendios provocados por mano criminal.<br>**M:** Cantidad de multas expedidas y terrenos restaurados. |

## C. Apoyar estudios y protocolos que puedan utilizarse para detectar plantas tropicales más resistentes a la sequía y el estrés del calor.

### COA C.1: Desarrollar estudios de tolerancia y aclimatación en especies clave y amenazadas.

**Mejores prácticas:**

Estudios enfocados en determinar la tolerancia y capacidad de aclimatación de especies a condiciones ambientales estresantes:

- W. O. Rivera-De Jesús y E. Rivera-Ocasio (2022). "*Tolerance and recuperation capacity of tropical native tree species to hydric and saline stress: An experimental approach for wetlands rehabilitation". Wetland Science & Practices, 40*(1), pp. 51-59.
- J. A. Hogan *et al.,* (2022). *"Solar radiation and soil moisture drive tropical forest understory responses to experimental and natural hurricanes". Ecosphere, 13*(7), e4150.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Determinar la tolerancia y capacidad de aclimatación de especies de plantas a condiciones ambientales estresantes (sequía, calor, inundación, salinidad), con énfasis en especies clave y amenazadas. | **1.** Fomentar a través de la comunidad científica el desarrollo de investigaciones que se enfoquen en caracterizar condiciones ambientales estresantes en los ecosistemas terrestres y, a su vez, que determinen, tanto en escenarios de campo como en escenarios controlados, el efecto de estas condiciones en la fisiología y sobrevivencia de dichos organismos. Utilizar los resultados para robustecer la implantación de los planes de reforestación. | DRNA | $30,000 - 50,000 por estudio | *Partners for Fish and Wildlife Program* (FWS)<br>*Wildlife Habitat Incentives Program (*USDA)<br>*Species Recovery Grants to States* (NOAA) | Mediano plazo | **R:** Desarrollo de programas estatales para la obtención de fondos que se destinen a estudios de tolerancia y aclimatación, en especial sobre especies clave y amenazadas.<br>**M:** Publicaciones de artículos científicos, informes técnicos y material educativo sobre la tolerancia de nuestras especies y recomendaciones efectivas para su manejo y recuperación bajo el contexto del cambio climático. |
| **C.1.2** Incrementar el conocimiento biológico sobre las especies de plantas que forman parte de nuestra flora autóctona y su interacción con el ambiente. | **1.** Desarrollar estudios de tolerancia que establezcan la plasticidad ecológica exhibida por distintas especies de plantas a condiciones ambientales estresantes. Esto favorece el desarrollo de estrategias efectivas para el manejo de poblaciones silvestres y para el desarrollo de planes de reforestación y recuperación considerando la capacidad del organismo para tolerar y sobrevivir a condiciones estresantes. | | | | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | |

**COA C.2: Garantizar estudios y protocolos que puedan utilizarse para detectar plantas tropicales más resistentes a la sequía y al estrés del calor.**

**Mejores prácticas:**

Anticipar un futuro con menos disponibilidad de agua fresca identificando desde ahora aquellas especies arbóreas con la mayor resistencia a la sequía. Involucrar al talento científico de Puerto Rico y las instalaciones de las estaciones experimentales agrícolas para asegurar rigor científico y cobertura de la diversidad de climas y terrenos representados por las estaciones experimentales (véase en los anejos la **Guía de reforestación para Puerto Rico**, en Organizaciones Clave).

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.1** Identificar y evaluar las especies arbóreas más resistentes a las sequías y al calor y desarrollar por medio de ensayos de campo las técnicas para su propagación y uso en las actividades de reforestación. | **1.** Desarrollar una lista de especies de arbustos y árboles candidatas para mejorar su adaptación a la sequía. Las especies deben ser seleccionadas de acuerdo con sus adaptaciones a las condiciones de los plantíos, *i.e.*, las que más probabilidades tengan de sobrevivir. | DRNA | $5,000 | Fondos propios de la entidad responsable | Corto plazo | **R:** Las listas de especies en orden de resistencia a la sequía están disponibles al público y el gobierno.<br>**M:** Cantidad de especies arbóreas que se utilizan para los ensayos de tolerancia a la sequía. |
| | **2.** Conducir medidas de atributos ecofisiológicos y ordenar la lista por resistencia a la sequía. | DRNA | $50,000 | Fundación Nacional de Ciencias y USDOE | Mediano plazo | **R:** Las hojas de información con los resultados de estos ensayos están disponibles al público. Identifican las especies más resistentes a la sequía.<br>**M:** Alcance de la información al público. |
| | **3.** Conducir ensayos de floración, germinación, crecimiento y tratamiento silvicultural. | DRNA | $50,000 anuales | Fundación Nacional de Ciencias, USDOE | Mediano a largo plazo (11 años) | **R:** La identificación de las especies mejor adaptadas a las sequías y al calor causados por el cambio climático para reforestar las cuencas hidrográficas de Puerto Rico está disponible al público.<br>**M:** Cuántas agencias utilizan la información para reforestar. |

## D. Promover la reforestación de las cuencas hidrográficas.

**COA D.1: Desarrollar un programa para la reforestación planificada con siembras resilientes y adaptativas a los efectos del cambio climático en las cuencas hidrográficas.[4] En aquellas circunstancias donde se demuestre que una especie nativa es la especie apropiada para una reforestación, la misma tendrá prioridad sobre otras especies que sean menos apropiadas.[5]**

**Mejores prácticas:**

Prácticas agrícolas y forestales tradicionales que garantizan la adaptación al cambio climático de acuerdo con la experiencia del Servicio Forestal en Puerto Rico en las décadas de 1940 a 1960 (véase en los anejos la **Guía de reforestación para Puerto Rico**). La época de siembra varía con el lugar y las condiciones climáticas. Se sugiere posponer la meta de una siembra de 100,000 árboles anuales hasta el momento en que se aprueben los planes de siembra para cada región de Puerto Rico. Una vez que se comience con la siembra, la cantidad de árboles a sembrarse estará determinada por el plan de reforestación y la disponibilidad de material vegetativo adecuado.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Reforestar la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza. Dicha experiencia facilita la ampliación del proyecto de reforestación a otras cuencas. | **1.** Identificar las áreas de la cuenca a reforestarse y alinearlas en orden de prioridad. | Corporación creada en la estrategia 4 del COA A.2 | $60,000 | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano plazo | **R:** Áreas identificadas en orden de prioridad.<br>**M:** 100 % de las áreas identificadas a través de un mapa base de reforestación. |
| | **2.** Sembrar entre 10,000 y 15,000 árboles al año, utilizando árboles de más de 3 pies de alto y técnicas de ayuda a la regeneración natural. | | $240,000 | | | **R:** Áreas reforestadas<br>**M:** Porcentaje reforestado del total requerido al nivel del mapa base de reforestación. |
| | **3.** Establecer un programa de monitoreo continuo utilizando las técnicas de *Forest Inventory and Analysis* (FIA). | | $100,000 | | | **R:** Programa implantado.<br>**M:** Éxito de siembra mayor. Porcentaje de sobrevivencia, según la guía.<br>**M:** Cambio de cobertura arbórea. Análisis geoespacial cada cinco años. |

[4] Este es un tema transversal que incide en el sector de agua (sección 7.7). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA o estrategias incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[5] La experiencia indica que las especies nativas son las especies indicadas para reforestar dunas de arena, matorrales costeros, manglares, humedales de agua dulce y ciertas zonas urbanas. No son tan exitosas en terrenos degradados por la agricultura o la urbanización (Ver Anejo 5, Guía de reforestación para Puerto Rico).

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.1** Reforestar la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza. Dicha experiencia facilita la ampliación del proyecto de reforestación a otras cuencas. | **4.** Establecer un programa de ayuda técnica a los dueños de terrenos. | Corporación creada en la estrategia 4 del COA A.2 | $100,000 | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano plazo | **R:** Implantación exitosa del programa: colaboración de los dueños de terrenos con el programa de reforestación.<br>**M:** Número de dueños de terrenos colaboradores y visitas realizadas por el personal de ayuda técnica. |
| **D.1.2** Reforestar las cuencas hidrográficas con potencial de siembra resiliente y adaptable a los efectos del cambio climático. | **1.** Identificar y ordenar por prioridad las cuencas a reforestarse. Por ejemplo:<br>**a.** Las cuencas hidrográficas aguas arriba de los embalses. Priorizar en los que suplen a la AAA.<br>**b.** Suelos expuestos por los derrumbes de tierra (se registraron 100,000 derrumbes relacionados con el paso del huracán María en 2017).<br>**c.** Áreas urbanas.<br>**d.** Restauración de dunas de arena o áreas costeras expuestas a incursiones del mar.<br>**e.** Áreas de interfaz entre la ciudad y el campo.<br>**f.** Rodales empobrecidos por los huracanes.<br>**g.** Lugares especialmente valiosos ya sea por razones sociales o ecológicas. | DRNA | $5,000 | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Corto plazo | **R:** Se completa la lista de cuencas a reforestar con prioridad.<br>**M:** Se identifica la cantidad, el tipo de uso prevaleciente y la ubicación de las cuencas a reforestar. |
| | **2.** Determinar la cobertura de la vegetación de cada cuenca para identificar los lugares potenciales a reforestar. | DRNA | $30,000 por cuenca | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Corto plazo | **R:** Se identifican y se establecen las regiones rurales donde la reforestación es necesaria.<br>**M:** El porcentaje de la cuenca que necesita reforestación. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.2** Reforestar las cuencas hidrográficas con potencial de siembra resiliente y adaptable a los efectos del cambio climático. | **3.** Desarrollar planes de siembra específicos para cada cuenca hidrográfica considerando el clima, los suelos, la topografía, la elevación y la catena. La implantación de esta siembra debe ser sustentable y con cero emisiones de GEI. | DRNA o municipios | $25,000 por cuenca | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Corto plazo | **R:** 100 % de los planes por cuenca desarrollado, con estrategias de reforestación más efectivas y menos costosas.<br>**M:** Bitácora por cuenca con las estrategias de reforestación, los costos y las expectativas de éxito. |
| | **4.** Desarrollar un plan de monitoreo y mantenimiento de cobertura arbórea por cuenca hidrográfica. Incluir un plan de contingencia en caso de eventos extremos de sequía, mortandad, inundación, huracán, etcétera. | DRNA o municipios | $25,000 por plan | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Corto plazo | **R:** 100 % de los planes desarrollados. En caso de un evento extremo, se evita la pérdida de tiempo y confusión asociada a esos eventos. La resiliencia de las siembras se maximiza.<br>**M:** Herramienta de evaluación que permita valorar el éxito de la reforestación y el comportamiento de las especies, así como sumar al conocimiento silvicultural para mejorar reforestaciones futuras. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.2** Reforestar las cuencas hidrográficas con potencial de siembra resiliente y adaptable a los efectos del cambio climático. | **5.** Reforestar la zona del karso. | DRNA | Preparación del terreno: $988 por acre<br>Siembra: $760 por acre<br>Resiembra: $380 por acre<br>Desyerbe: $1,216 por acre | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Bosques resilientes y sustentables con la combinación de especies adecuadas para los lugares reforestados.<br>**M:** Mediano plazo: 50 % de las áreas identificadas en la zona del karso reforestadas. Largo plazo: 100 % de las áreas identificadas en la zona del karso reforestadas. |
| | **6.** Reforestar la zona montañosa. | DRNA | Preparación del terreno: $988 por acre<br>Siembra: $760 por acre<br>Resiembra: $1,140 por acre<br>Desyerbe: $3,192 por acre | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Bosques resilientes y sustentables con la combinación de especies adecuadas para los lugares reforestados.<br>**M:** Mediano plazo: 50 % de las áreas identificadas en la zona montañosa reforestadas. Largo plazo: 100 % de las áreas identificadas en la zona montañosa reforestadas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **D.1.2** Reforestar las cuencas hidrográficas con potencial de siembra resiliente y adaptable a los efectos del cambio climático. | **7.** Reforestar las zonas con clima seco. | DRNA | Preparación del terreno: $456 por acre<br>Siembra: $760 por acre<br>Resiembra: $456 por acre<br>Desyerbe: $532 por acre | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Bosques resilientes y sustentables con la combinación de especies adecuadas para los lugares reforestados.<br>**M:** Mediano plazo: 50 % de las áreas identificadas y reforestadas en las zonas con clima seco. Largo plazo: 100 % de las áreas identificadas y reforestadas en las zonas con clima seco. |
| | **8.** Reforestar los manglares. | DRNA | Preparación del terreno: $456 por acre<br>Siembra: $228 por acre<br>Resiembra: $228 por acre<br>Desyerbe, solamente cuando se extermine el helecho de mangle: $1,520 por acre | Fondos propios de la entidad responsable, NOAA, USDA, NRCS y FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Bosques resilientes y sustentables con la combinación de especies adecuadas para los lugares reforestados.<br>**M:** Mediano plazo: 50 % de las áreas de mangles reforestadas. Largo plazo: 100 % de las áreas de mangles reforestadas. |
| | **9.** Reforestar lugares críticos como rodales degradados, especiales por diferentes razones o en la interfaz entre el campo y la ciudad utilizando técnicas de enriquecimiento o regeneración natural asistida. | DRNA y municipios | $1,000 por acre | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Bosques resilientes y sustentables con la combinación de especies adecuadas para los lugares reforestados.<br>**R:** 100 % de los lugares críticos identificados y reforestados. |

## E. Promover la reforestación mediante la siembra de árboles.

**COA E.1: Desarrollar el programa de reforestación urbana iniciado en Caguas y replicarlo a través de toda la isla con miras a garantizar una reforestación holística mediante la siembra de árboles. Este programa no debe excluir a ninguna especie, incluyendo las especies nativas. Las especies deben ser seleccionadas de acuerdo con sus adaptaciones a las condiciones de los plantíos, i.e., las que más probabilidades tengan de sobrevivir.**

**Mejores prácticas:**

Desarrollar nuevas estrategias de manejo y conservación de bosques y árboles urbanos considerando las áreas urbanas holísticamente y evitando conflictos entre la vegetación y la seguridad pública. Para lograrlo se recomienda utilizar manuales escritos específicamente para las condiciones urbanas de Puerto Rico y emular la experiencia del municipio de Caguas, designado como ciudad arbórea por el *Arbor Foundation* de los EE. UU. https://www.arborday.org

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.1** Reverdecer los pueblos y ciudades con áreas arboladas utilizando el modelo exitoso del municipio de Caguas para contrarrestar el calor causado por el cambio climático y para sustituir parte de la infraestructura gris con infraestructura verde. | **1.** Conducir análisis de cobertura del municipio identificando áreas de oportunidad para reforestar. | Municipios | $30,000 por municipio | Fondos municipales subvencionados por USDA FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Un claro panorama del municipio en relación con las necesidades de reforestación.<br>**M:** Mediano plazo: 100 % de las áreas de oportunidad para reforestar identificadas por municipios. Largo plazo: 100 % de las áreas de oportunidad para reforestar identificadas por municipios. |
| | **2.** Desarrollar planes de siembra, cuido y mantenimiento de árboles en las zonas urbanas y rurales. | Municipios | $30,000 por municipio | Fondos municipales subvencionados por USDA FS | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Árboles más resistentes a vientos y sequías. Planes desarrollados por los municipios. Manejo profesional de los árboles urbanos. Menos conflicto entre los árboles y la propiedad e infraestructura.<br>**M:** Bitácora con el número de municipios que manejan los árboles profesionalmente y el número de planes municipales activos. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.2** Realizar un proyecto piloto de reforestación urbana en el municipio de Caguas. | **1.** Desarrollar un plan para la reforestación urbana del municipio de Caguas. | Municipio de Caguas | $50 por árbol | DRNA, USFS y EPA | Corto plazo (1 año) | **R:** Aumentar a 40 % la cobertura de árboles en la zona urbana de Caguas.<br>**M:** Aumentar en 10 % anual la cobertura de árboles en la zona urbana de Caguas. |
| | **2.** Realizar la siembra de árboles y el mantenimiento apropiado de los árboles sembrados. | | | | Mediano plazo (3 años después de desarrollado el plan de reforestación) | |
| | **3.** Evaluar la reforestación urbana de Caguas y determinar los costos, beneficios y las lecciones aprendidas. | | | | Mediano plazo (3 meses después de finalizada la siembra de árboles) | |
| | **4.** Divulgar los resultados a los demás municipios. | | | | Mediano plazo (4 meses después de finalizada la siembra de árboles) | |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.1.3** Revegetar las zonas de derrumbe para reducir la sedimentación de las represas y de cuerpos de agua en tierras bajas. | **1.** Identificar las zonas con derrumbes, identificar las áreas que pueden revegetarse y desarrollar el plan de revegetación y monitoreo. Las zonas de derrumbes en las montañas deben atenderse lo más pronto posible para minimizar sus efectos negativos. | DRNA | $50,000 | Fondos propios de la entidad responsable en colaboración con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) | Corto a mediano plazo | **R:** Plan de revegetación y monitoreo desarrollado; establece una estrategia para la revegetación de la zona montañosa, la cual reduce la erosión y la sedimentación, además de proteger la calidad de las aguas.<br>**M:** Número de planes activos y áreas de derrumbes revegetadas y bajo monitoreo. |
| **E.1.4** Proteger la zona costanera de los embates del viento y las marejadas por medio de la restauración y revegetación de las dunas de arena.[3] | **1.** Estabilizar el movimiento de arena mecánicamente, revegetar por zona perpendicular a la costa y monitorear el proceso de revegetación. | DRNA | $30,000 por zonal | Fondos de la agencia en colaboración con ONG, los municipios y NOAA | Corto a mediano plazo | **R:** 100 % de las áreas revegetadas, según la necesidad de la zona costanera ante los efectos de la subida del mar y los eventos extremos de viento y marejadas.<br>**M:** Bitácora con la ubicación de las zonas costaneras protegidas y estabilizadas como resultado de la reforestación. |

[3] Este es un tema transversal que incide en el sector de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

**COA E.2: Evaluar de forma efectiva el estado poblacional de especies vulnerables para desarrollar proyectos de reforestación y recuperación de estas especies.**

**Mejores prácticas:**

Censos y monitoreos poblacionales actualizados para desarrollar proyectos efectivos de reforestación y recuperación de las especies vulnerables:

- M. J. Alam *et al.,* (2022). *"Socio-economic and ecological outcomes of a community-based restoration of peatland swamp forests in Peninsular Malaysia: A 5Rs approach". Land Use Policy, 122*, 106390.
- S. Suter *et al.,* (2023). *"Do biodiversity monitoring citizen science surveys meet the core principles of open science practices?". Environmental Monitoring and Assessment, 195*(2), pp. 1-14.
- V. Chaudhary *et al.,* (2022). *"Using population monitoring programs to detect changes in mammalian communities". Biological Conservation, 276*, 109778.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **E.2.1** Desarrollar censos poblacionales coordinados y continuos sobre las especies amenazadas y en peligro de extinción de las cuales se necesita información actualizada. | **1.** Realizar censos poblacionales sistemáticos y coordinados a través de agencias estatales y federales en los que se integre a diversos sectores de la comunidad (ONG, academia y escuelas, entre otros) con el fin de establecer proyectos de recuperación efectivos y mantener una lista actualizada y completa, en especial de aquellas especies sobre las que hay pocos datos, las que están bajo la categoría de peligro crítico de extinción y las que están en proceso de entrar en esa categoría. | DRNA | $60,000 - 80,000, reforestación por acre de terreno | *Wildlife Habitat Incentives Program* (USDA)<br>*Forest Legacy Program* (USDA)<br>*Habitat Conservation Plan* (FWS)<br>Programa de forestación urbana y comunitaria (DRNA / USDA)<br>*Wetland Development Program* (EPA) | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | **R:** Programa estatal de monitoreo de poblaciones vulnerables con un plan sistemático para el desarrollo de censos poblacionales actualizados cada 5 años.<br>**M:** Divulgación periódica, cada 5 años, de las listas actualizadas sobre el estado poblacional de especies vulnerables. |
| **E.2.2** Desarrollar proyectos de reforestación para el mejoramiento de los hábitats y ecosistemas críticos y para la recuperación de las especies vulnerables, integrando a diversos sectores de la comunidad. | **1.** Desarrollar programas de siembra y reforestación entre agencias estatales, federales y la comunidad (ONG, academia y escuelas, entre otros) que prioricen en el desarrollo de infraestructura verde para el mejoramiento y la calidad de los ecosistemas, la mitigación, adaptación y resiliencia a los efectos del cambio climático y para la recuperación de especies de flora y fauna vulnerables. | DRNA | | | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | **R:** Diseño de planes de reforestación con prioridad en hábitats designados como críticos en alianza entre el DRNA y sectores comunitarios.<br>**M:** Implantación de los planes de reforestación con prioridad en las áreas designadas como críticas; 50 % de la implantación en áreas designadas a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |

## F. Identificar y favorecer la protección y conservación de especies que pueden ser más vulnerables a los efectos del cambio climático.

### COA F.1: Desarrollar proyectos que favorezcan la rehabilitación y conservación de especies vulnerables a los efectos del cambio climático.

**Mejores prácticas:**

Delinear estrategias de conservación que se enfoquen en evaluar el impacto de eventos extremos del clima sobre poblaciones de especies vulnerables y establecer medidas para la protección del hábitat y el monitoreo continuo de estas poblaciones ante las manifestaciones del cambio climático.

- K. E. Jones *et al.,* (2001). "*Short-term impacts of extreme environmental disturbance on the bats of Puerto Rico". Animal Conservation Forum, 4*(1), pp. 59-66.
- A. Rodríguez-Durán *et al.,* (2023). *"Population estimates of bat assemblages from hot caves in Puerto Rico". Novitates Caribaea,* (22), pp. 13-24.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Establecer estrategias de conservación que fomenten la protección de poblaciones de especies vulnerables a los efectos del cambio climático y adoptar prácticas de conservación del hábitat que minimicen la vulnerabilidad de estas especies ante las manifestaciones del cambio climático. | **1.** Llevar a cabo acciones para garantizar la sobrevivencia de especies clave, como el coquí llanero y los murciélagos, vulnerables a las manifestaciones del cambio climático.<br>**a.** Murciélago (frutero común): eventos extremos relacionados con el cambio climático, como los huracanes y las temperaturas extremas, han generado reducciones poblacionales significativas y modificaciones en los patrones de dispersión de especies amenazadas como los murciélagos. Es el caso del frutero común (*Artibeus jamaicensis*). Estas especies ocupan ecosistemas y nichos específicos en Puerto Rico, incluidos bosques montanos y ecosistemas del karso. Los murciélagos ejercen un papel importante en el control poblacional de otras especies (como los mosquitos) y en la dispersión de semillas que incide en la sucesión natural de estos ecosistemas.<br>**b.** Coquí llanero: su hábitat son los humedales, que están más expuestos al cambio climático. Los humedales costeros están amenazados por los cambios hidrológicos que surjan de las variaciones en los patrones de lluvia (sequía e inundación) y además por el aumento del nivel del mar. El hábitat del coquí llanero no tiene protección, por lo que se requieren acciones específicas para asegurar la sobrevivencia de esta especie. | DRNA | Sujeto a las acciones que se identifiquen como necesarias | *Partners for Fish and Wildlife Program* (FWS)<br>*Wildlife Habitat Incentives Program* (USDA)<br>*Species Recovery Grants to States* (NOAA) | Corto plazo | **R:** La protección de estas especies vulnerables ante las manifestaciones del cambio climático.<br>**M:** Se identifican las acciones específicas para proteger estas especies vulnerables. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **F.1.1** Establecer estrategias de conservación que fomenten la protección de poblaciones de especies vulnerables a los efectos del cambio climático y adoptar prácticas de conservación del hábitat que minimicen la vulnerabilidad de estas especies ante las manifestaciones del cambio climático. | **2.** Actualizar el estado poblacional y la vulnerabilidad de especies claves como el coquí llanero y el murciélago frutero común. Ante las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico se requiere de nuevos censos que informen sobre el estado poblacional de estas especies, e identificar cómo estos eventos del clima han incidido en la abundancia de tales poblaciones, los cambios que han generado en sus patrones de distribución y la probabilidad de que se puedan encontrar nuevas poblaciones de las especies mencionadas en otras zonas de Puerto Rico. Dichos censos, con la información requerida para estas especies, se pueden desarrollar en alianza con entidades que realizan iniciativas ambientales para la conservación de especies.<br><br>Colaboradores potenciales: la academia y las ONG. | DRNA | $30,000 - 60,000 por especie | *Partners for Fish and Wildlife Program* (FWS)<br><br>*Wildlife Habitat Incentives Program* (USDA)<br>*Species Recovery Grants to States* (NOAA) | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | **R:** Tener un censo actualizado de las especies y su vulnerabilidad al cambio climático.<br><br>**M:** Se determina la población de estas dos especies vulnerables cada cinco años. |
| | **3.** Establecer estrategias de conservación enfocadas en la recuperación de los hábitats que estas especies utilizan para su propagación y movilidad. Para que estas estrategias sean más efectivas, urge desarrollar programas de conservación para la obtención de fondos estatales, con el fin de realizar estudios poblacionales continuos y la implantación de estrategias de conservación en especies amenazadas que no se encuentran en la lista federal, como es el caso de los murciélagos. Que estas especies no se encuentren en la lista federal limita la posibilidad de adquirir fondos de las agencias federales para desarrollar estos trabajos y tener una información más actualizada sobre dichas especies, de gran importancia para nuestros ecosistemas terrestres. | DRNA | Indeterminable | *Partners for Fish and Wildlife Program* (FWS)<br><br>*Wildlife Habitat Incentives Program* (USDA)<br><br>*Species Recovery Grants to States* (NOAA) | Mediano y largo plazo (7-8 años, continuo) | **R:** Evaluación de las especies que rinden un beneficio ecosistémico y que no están en la lista de especies amenazadas a nivel federal.<br><br>**M:** Se determina la población de estas especies que no se encuentran en la lista federal de especies amenazadas cada cinco años. |

**Tabla 7.10.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **turismo**.

## A. Desarrollar un modelo turístico que evalúe las nuevas situaciones, tanto las oportunidades como las amenazas, derivadas de los efectos del cambio climático.

### COA A.1: Adaptar la infraestructura de turismo y aquella que apoya al sector turístico a los efectos del cambio climático.[1]

**Mejores prácticas:**

- Actualmente, la **Federal Aviation Administration (FAA)** está evaluando cómo mitigar el alza del nivel del mar en los aeropuertos costeros. Se recomienda que, cuando la FAA haga públicas sus guías de mitigación, se estudien como base de mejores prácticas. Existen mejores prácticas fuera de Estados Unidos, pero en la mayoría de los casos en la aviación el gobierno federal suele tener políticas diferentes al resto del mundo. Por lo tanto, dichas mejores prácticas no son aplicables a Puerto Rico.
- *Small and Rural Wastewater Systems.* https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems
- *Nature-based solutions resource guide*. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/Nature-Based-Solutions-Resource-Guide-2022.pdf
- *Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales*. https://coastalscience.noaa.gov/data_reports/coral-reef-restoration-monitoring-guide-methods-to-evaluate-restoration-success-from-local-to-ecosystem-scales/
- *Nature-Based Solutions for Coastal Hazards*. https://coast.noaa.gov/digitalcoast/training/green.html
- S. Unguendoli *et al.,* (2023, abril). "*A modeling application of integrated nature-based solutions (NBS) for coastal erosion and flooding mitigation in the Emilia-Romagna coastline (Northeast Italy)". Science of the Total Environment, 867*, 161357. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722084613

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[2] | Costo estimado[3] | Fuente potencial de financiamiento[4] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Proteger y adaptar la infraestructura de transporte aéreo y marítimo por medio de la cual propiciamos la llegada de los turistas a Puerto Rico. | **1.** Implantar urgentemente acciones para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el **Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (LMM)** diseñando medidas a lo largo de la colindancia de dicho aeropuerto para atender el impacto a corto plazo sobre este del aumento del nivel del mar. | **Autoridad de los Puertos (AP)** | $70 millones | FAA | Corto plazo (inmediato)<br>Mediano plazo | **R:** Terminar el diseño de las medidas en un año.<br>**M:** Identificar medidas en seis meses. |

[1] Este es un tema transversal que incide en los sectores de energía (sección 7.1), de infraestructuras (sección 7.2), de transportes y movilidad (sección 7.3), de agua (sección 7.7), de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8) y de forestación y ecosistemas terrestres (7.9). Aunque las estrategias bajo este curso de acción se asemejan a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[2] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[3] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[4] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Proteger y adaptar la infraestructura de transporte aéreo y marítimo por medio de la cual propiciamos la llegada de los turistas a Puerto Rico. | **2.** Implantar urgentemente medidas a lo largo de la colindancia del LMM para enfrentar a corto plazo el impacto del aumento del nivel del mar. | **Autoridad de los Puertos (AP)** | $60 millones por cada milla de extensión | FAA | Corto plazo (inmediato)<br>Mediano plazo | **R:** Implantar en tres años las medidas para enfrentar a corto plazo el aumento del nivel del mar en el LMM, luego de adjudicado el contrato.<br>**M:** Adjudicar el contrato de implantación un año después de finalizado el diseño. |
| | **3.** Crear mediante una orden ejecutiva el comité interagencial, presidido por la AP, para evaluar alternativas sobre cómo garantizar los servicios aéreos que ofrece actualmente el LMM ante el impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático. El Comité Interagencial debe consultar a entes privados, organizaciones profesionales y los sectores pertinentes. | Gobernador de Puerto Rico | Nominal | Oficina del Gobernador | Corto plazo (inmediato) | **R:** Orden ejecutiva para crear el comité interagencial en 6 meses.<br>**M:** Borrador de la orden ejecutiva en 3 meses. |
| | **4.** Evaluar alternativas para atender el tráfico aéreo que actualmente maneja el LMM, en vista del impacto del aumento del nivel del mar y otros efectos de las manifestaciones del cambio climático, e informar al gobernador la recomendación seleccionada. | Comité interagencial | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Mediano plazo | **R:** Se somete el informe final con recomendación al gobernador en 2 años.<br>**M:** Identificar las alternativas y evaluar su viabilidad, en un año. |
| | **5.** Identificar medidas de adaptación al cambio climático para cada uno de los aeropuertos regionales. | AP | $250,000 para asesoría de expertos | FAA | Corto plazo (inmediato) | **R:** Identificación de medidas de adaptación para cada aeropuerto regional en 2 años.<br>**M:** Identificación de medidas de adaptación para 75 % de los aeropuertos regionales en un año. |
| | **6.** Adaptar los aeropuertos regionales al impacto del cambio climático con el propósito de aumentar la redundancia de la infraestructura del transporte aéreo de Puerto Rico. | | Indeterminable | | Mediano plazo | **R:** Aeropuertos regionales adaptados al cambio climático en 5 años.<br>**M:** Diseño de medidas de adaptación en 3 años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Proteger y adaptar la infraestructura de transporte aéreo y marítimo por medio de la cual propiciamos la llegada de los turistas a Puerto Rico. | **7.** Construir infraestructura para el control de inundaciones en el Aeropuerto Internacional Mercedita de Ponce. | AP y GPR | $20 a 40 millones | DHS, GPR, FAA, USDOT, EDA y USACE | Largo plazo (10 a 20 años) | **R:** Completar la construcción de las medidas de control de inundaciones.<br>**M:** Construir 100 % de la infraestructura para el control de inundaciones. |
| | **8.** Promover la adaptación y resiliencia de los puertos marítimos públicos ante el embate de un evento natural y el alza en el nivel del mar. Para esto, realizar un estudio y considerar, ante la proyectada alza en el nivel del mar:<br>**a.** la construcción de una barrera marítima para los puertos a lo largo de límites con la línea de costa, como medida para evitar la inundación costera;<br>**b.** la reconstrucción y elevación de la altura de los muelles. | AP y GPR | A ser estimado por el estudio | DHS, GPR, MARAD, USDOT, EDA y USACE | Largo plazo (antes de 2050) | **R:** Se reduce la disrupción en las operaciones marítimas. El estudio determinará las métricas a seguir.<br>**M:** Reducir la paralización de las operaciones marítimas y proteger la infraestructura. |
| **A.1.2** Asegurar que tengamos la infraestructura hotelera necesaria para atender a los turistas a pesar de las manifestaciones del cambio climático. | **1.** Implantar medidas de adaptación *in situ* de la infraestructura hotelera como estrategia a corto plazo. | CTPR y DDEC | Indeterminable | CTPR y DDEC | Corto plazo | **R:** Implantación de medidas de adaptación *in situ* en todos los hoteles vulnerables al aumento del nivel del mar.<br>**M:** Implantación de medidas de protección en 50 % de los hoteles vulnerables en un año. |
| | **2.** Reubicación planificada de la infraestructura hotelera cuando la protección *in situ* no es viable o como medida de mediano y largo plazo. | | | | Largo plazo (20 años) | **R:** Reubicación planificada de 100 % de los hoteles vulnerables al aumento del nivel del mar.<br>**M:** Desarrollo de planos y especificaciones para la nueva ubicación de todos los hoteles en 10 años. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.3** Proteger las playas como uno de los principales activos turísticos bajo amenaza por el alza en el nivel del mar, la erosión y las marejadas. | **1.** Implantar la reubicación planificada de las plantas de tratamiento de aguas usadas (primarias y secundarias) cercanas a la costa o a otros cuerpos de agua. Las futuras plantas de tratamiento de aguas usadas deben estar ubicadas lejos de la costa. | AAA | $500,000 por plan | AAA | Largo plazo (2030) | **R:** Planes de mitigación y reubicación de plantas de tratamiento de aguas usadas (primarias y secundarias) cercanas a la costa o a otros cuerpos de agua desarrollados e implantados. **M:** Reubicación de la mitad de las plantas de aguas usadas vulnerables para 2030. |
| | **2.** Proveer redundancia en las estaciones de bomba de aguas usadas para evitar descargas a las playas cuando ocurran apagones. | AAA | Indeterminable | AAA y EPA | Corto plazo | **R:** Estaciones de bomba redundantes. **M:** 30 % el primer año, 30 % el segundo año y 40 % el tercer año. |
| | **3.** Detectar y eliminar las descargas de aguas usadas en los sistemas de alcantarillado pluvial y las playas. | Cada municipio, DTOP, DRNA y AAA | Indeterminable | DOT y FEMA | Corto, mediano y largo plazo (10 años) | **R:** Programa de detección y eliminación de descargas de aguas usadas establecido y en operación. **M:** Detección y eliminación de las descargas de aguas usadas en los sistemas de alcantarillado pluvial en 30 % a corto plazo; 60 % a mediano plazo y en plena operación a largo plazo. |
| | **4.** Proveer sistemas comunitarios de tratamiento de aguas usadas a las comunidades costeras que carecen de servicio de alcantarillado sanitario. | DRNA | Indeterminable | Gobierno de Puerto Rico y EPA | Mediano plazo | **R:** Sistemas de alcantarillado sanitario en las comunidades costeras. **M:** 85 % de los sistemas construidos en 6 años. |
| | **5.** Implantar el protocolo del DRNA para evitar que el sargazo llegue a las playas y para remover de manera expedita y disponer del sargazo si llega a la playa. | DRNA y CTPR | Indeterminable | Fondos propios de la agencia y subvenciones federales. Por ejemplo: Departamento del Interior federal y NOAA | Corto plazo (continuo) | **R:** Playas aptas para el uso de turistas. **M:** Playas libres de patógenos y sargazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Proteger y adaptar los recursos naturales que atraen al turismo, como los corales, las bahías bioluminiscentes, los bosques y otros, de los efectos del cambio climático. | **1.** Evitar la deforestación y reforestar masivamente en espacios con alto valor para el turismo de naturaleza preservando los ecosistemas terrestres y marinos, como los arrecifes de coral. Evitar la deforestación y reforestar reduce la sedimentación que afecta los corales y los cuerpos de agua. | DRNA | $5 millones | Fondos propios de la entidad responsable y el Servicio Forestal federal | Corto plazo | **R:** Se ofrece capacitación en conservación y reforestación de ecosistemas terrestres, agrícolas y marinos al sector turístico.<br>**M:** Mínimo de dos a cinco estrategias colaborativas comunitarias firmadas al año para ofrecer capacitación en conservación y reforestación de ecosistemas. |
| | | | | | | **R:** Se ofrecen productos turísticos que promueven la conservación y preservación de los ecosistemas terrestres, agrícolas y marinos.<br>**M:** Número de productos turísticos nuevos desarrollados, fundamentados en la conservación y preservación de los ecosistemas. |
| | | | | | | **R:** Se desarrollan campañas de reforestación en áreas turísticas o con potencial turístico.<br>**M:** Mínimo de 6 campañas de reforestación anuales en las actuales o potenciales áreas con aprovechamiento turístico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Proteger y adaptar los recursos naturales que atraen al turismo, como los corales, las bahías bioluminiscentes, los bosques y otros, de los efectos del cambio climático. | **2.** Desarrollar y apoyar proyectos de restauración de arrecifes de coral con soluciones basadas en la naturaleza e implantar un programa efectivo de control del pez león. | DRNA | Indeterminable | Fondos propios de la entidad responsable y subvenciones federales y de fundaciones: *National Wildlife Federation*, NOAA, *Climate Ready Coast Program*, *The Ocean Foundation* | Corto plazo | **R:** Todos los arrecifes de coral saludables y robustos.<br>**M:** Iniciar programas de restauración en 50 % de los corales afectados por diversas manifestaciones del cambio climático en un año. |
| | | | | | | **R:** Control efectivo del pez león en todos los arrecifes.<br>**M:** Control efectivo del pez león en 50 % de los arrecifes en un año. |
| | **3.** Eliminar las escorrentías y evitar la descarga de sedimentos y la contaminación por fuentes dispersas que puedan alcanzar las bahías bioluminiscentes. Vedar las descargas de aguas usadas a estos cuerpos de agua y en los terrenos aledaños. | AAA | Indeterminable | HUD y DV | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Programa de eliminación de descargas del agua de lluvia de las viviendas y los edificios en el alcantarillado sanitario completado y en operación.<br>**M:** Eliminación de las descargas en el alcantarillado sanitario del agua de lluvia de las viviendas y los edificios en 30 % a corto plazo y en 60 % a mediano plazo. Programa en plena operación a largo plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Proteger y adaptar los recursos naturales que atraen al turismo, como los corales, las bahías bioluminiscentes, los bosques y otros, de los efectos del cambio climático. | **4.** Impulsar soluciones inteligentes basadas en la naturaleza dirigidas a la restauración, protección y gestión estratégica de los ecosistemas naturales y otros recursos de interés turístico que se puedan ver comprometidos con el cambio climático.<br><br>Colaboradores potenciales: la academia y ONG. | DRNA, CTPR y AAA | $15 millones | Fondos propios de las entidades responsables | Mediano plazo | **R:** Se incorporan como soluciones basadas en la naturaleza para la restauración, protección y gestión del sector turístico.<br><br>**M:** Número de bosques, ríos, playas y corredores verdes / azules de actual o potencial aprovechamiento turístico que se restauran o protegen con soluciones basadas en la naturaleza.<br><br>**M:** Mínimo de 5 acciones o iniciativas anuales generadas para la adaptación o mitigación del cambio climático en recursos de actual o potencial aprovechamiento turístico. |
| **A.1.5** Aprovechar las oportunidades que representa el cambio climático para expandir la oferta turística y el potencial del capital natural en Puerto Rico fomentando iniciativas para distribuir la carga de la actividad turística. | **1.** Desarrollar el turismo de la montaña y designar zonas de interés turístico para promover otras alternativas al visitante durante el período de más calor, cuando se espera que los eventos de temperatura extrema afectarán al turismo tradicional de sol y playa. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | CTPR, DDEC, municipios, ICP, Oficina Estatal de Conservación Histórica, DRNA, DMO y DA | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $350,000) | Fondos propios de las entidades responsables | Corto y mediano plazo | **R:** Se actualiza la designación de zonas de interés turístico o zonas de desarrollo de turismo en la montaña.<br><br>**M:** Se añaden nuevas zonas de interés turístico en la montaña. |
| | **2.** Facilitar la creación de hospederías utilizando un modelo de ecoparador que incorpore en su totalidad la transición ecológica y no exceda las 25 habitaciones para atender el aumento previsto en el número de visitantes en la montaña causado por las temperaturas extremas. | | | | Corto plazo | **R:** Se desarrollan ecoparadores para atender el aumento del turismo en la montaña.<br><br>**M:** Al menos un ecoparador en 75 % de los municipios. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.5** Aprovechar las oportunidades que representa el cambio climático para expandir la oferta turística y el potencial del capital natural en Puerto Rico fomentando iniciativas para distribuir la carga de la actividad turística. | **3.** Aprobar el primer plan de movilidad y conectividad regional para territorios potencialmente turísticos enfocado en minimizar las emisiones de GEI. Se debe considerar el comienzo de los servicios en fines de semana para beneficio del turismo interno. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | CTPR, JP, Asamblea Legislativa y DRNA | $500,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto y mediano plazo | **R:** Plan de movilidad turística aprobado e implantado.<br>**M:** Establecer al menos una ruta de movilidad y conectividad regional en las áreas norte, sur, este, oeste y central. |
| | **4.** Redactar los planes estratégicos para el desarrollo de infraestructura turística en cada municipio a fin de responder a los retos del cambio climático, la sostenibilidad, la resiliencia y la protección de la naturaleza. Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | | | | | **R:** Cada municipio tiene un plan estratégico de desarrollo de infraestructura turística a medio plazo.<br>**M:** Todos los municipios tienen un borrador de su plan estratégico en dos años. |
| | **5.** Capacitar al sector turístico en el diseño y la gestión de rutas y circuitos turísticos en el área de la montaña para atender el aumento previsto en el número de visitantes durante los períodos de más calor. | CTPR, DDEC, municipios, ICP, Oficina Estatal de Conservación Histórica, DRNA, DMO y DA | Costos operacionales de nómina (y contratación expertos de $350,000) | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Se capacita al sector turístico sobre la planificación y desarrollo de festivales, ferias y eventos turísticos.<br>**M:** Mínimo de dos talleres anuales para los municipios de la montaña. |

**B. Instar a una planificación que incorpore la evaluación de medidas específicas para garantizar los servicios básicos en época de máxima afluencia turística. Estos servicios básicos incluyen el abastecimiento de agua potable, el suministro de energía, la disposición de desperdicios, reciclaje, la facilitación del transporte, la depuración de aguas residuales y la atención primaria de salud.**

**COA B.1: Desarrollar un sistema integral de gestión ambiental para el sector turístico y de posicionamiento como un destino sostenible.**

**Mejores prácticas:**

- Observatorio del Turismo en Barcelona. https://www.observatoriturisme.barcelona/es/sostenibilidad-el-observatorio-del-turismo-en-barcelona-en-el-marco-de-la-sostenibilidad-turística
- Inteligencia Turística, Costa del Sol, Málaga. https://www.costadelsolmalaga.org/inteligenciaturistica/
- Observatorio para el Turismo Sostenible de Algarve. https://www.turismodoalgarve.pt/pt/menu/814/observatorio.aspx
- Plan de Adaptación al Cambio Climático Sector Turismo 2020-2024, SENATUR, Chile. https://www.subturismo.gob.cl/desarrollo-de-destinos-y-gestion-territorial/sustentabilidad-y-cambio-climatico/plan-de-adaptacion-al-cambio-climatico-del-sector-turismo/
- Plan Maestro de Acción Climática 2022-2030, Gobierno de Islas Canarias, España. https://turismodeislascanarias.com/sites/default/files/plan_maestro_accion_climatica.pdf
- ARClim Atlas de Riesgos Climáticos, Chile. https://arclim.mma.gob.cl/
- *JFK airport's new terminal will be powered by a microgrid and the largest rooftop solar array in New York City.* https://www.businessinsider.com/jfk-airport-nyc-solar-microgrid-energy-roof-terminal-2023-1
- *Energy Master Plan, Low Carbon Microgrid Assessment and Preliminary Design at Denver International Airport.* https://www.burns-group.com/project/energy-master-plan-low-carbon-microgrid-assessment-and-preliminary-design-at-denver-international-airport/
- *Seeking Space for Solar Farms, Cities Find Room at Their Airports.* https://www.nytimes.com/2021/12/07/business/airports-solar-farms.html
- Australia tiene políticas para la gestión sostenible del agua, como invertir en infraestructuras para la gestión de las sequías y para promover la eficiencia en el uso del agua en la industria y la agricultura. https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-how-australia-is-securing-its-water-future
- *Solar Microgrid to 'Green' North America's Largest Port.* https://www.microgridknowledge.com/google-news-feed/article/11432441/solar-microgrid-to-8216green8217-north-america8217s-largest-port

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Crear y establecer programas que fomenten la resiliencia del sector turístico ante el cambio climático (**Plan de Adaptación ante el Cambio Climático [PACC]** de 2016) de la CTPR. | **1.** Revisar y actualizar el PACC 2016 de la CTPR. | CTPR | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $50,000) | DDEC | Corto plazo | **R:** Se aprueba e implanta el PACC actualizado 2024.<br>**M:** Número de talleres y capacitaciones anuales para dar a conocer e implantar las estrategias del PACC 2024. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Crear y establecer programas que fomenten la resiliencia del sector turístico ante el cambio climático (Plan de Adaptación ante el Cambio Climático [PACC] de 2016) de la CTPR. | **2.** Revisar y actualizar las Guías de Diseño y Operacionales para Instalaciones Ecoturísticas y de Turismo Sostenible, las Guías de Ecoturismo y las Guías de Agroturismo de la CTPR para que se ajusten al cambio climático y sus efectos (PACC 2016).[5] | CTPR | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $75,000) | DDEC | Corto plazo | **R:** Se aprueban y establecen las nuevas Guías de Diseño y Operacionales para Instalaciones Ecoturísticas y de Turismo Sostenible, las Guías de Ecoturismo y las Guías de Agroturismo de la CTPR.<br>**M:** Número de proyectos turísticos aprobados bajo las nuevas guías.<br>**M:** Número de proyectos turísticos que se rigen por las nuevas guías. |
| | **3.** Elaborar y utilizar guías de construcción y cambio climático para toda infraestructura turística nueva o para remodelación similares a las Guías de Diseño y Operacionales para Instalaciones Ecoturísticas y de Turismo Sostenible. | | | | | |
| | **4.** Generar criterios que ayuden a la planificación y desarrollo de proyectos de infraestructura turística adaptados al cambio climático. | | | | Corto plazo | **R:** Los proyectos de infraestructura turística están adaptados al cambio climático.<br>**M:** Se aprueban los criterios para la planificación y desarrollo de nueva infraestructura turística adaptada al cambio climático.<br>**M:** Se aprueban los criterios para la infraestructura turística que necesita adaptación al cambio climático. |

[5] Este es un tema transversal que incide en el sector de infraestructura (sección 7.2). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Evaluar y encaminar medidas que permitan garantizar los servicios básicos al sector del turismo. | **1.** Construir en cada aeropuerto público microrredes eléctricas a través de generadores de gas y fincas solares, como sistemas de resguardo en caso de interrupciones en el sistema eléctrico de Puerto Rico. | AP y GPR | $150 millones | DHS, GPR, FAA, USDOT, EDA y USDOE | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Para 2040, todos los aeropuertos tienen su propia microrred.<br>**M:** Lograr la construcción y operación de estas microrredes en todos los aeropuertos públicos para la fecha determinada. |
| | **2.** Construir en cada puerto marítimo público microrredes eléctricas a través de generadores de gas y fincas solares, como sistemas de resguardo en caso de pérdida energética de la red eléctrica de Puerto Rico. | AP y GPR | $120 millones | DHS, GPR, MARAD, USDOT, EDA y DOE | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** Para 2040, todos los puertos marítimos públicos deberán contar con su propia microrred.<br>**M:** Lograr la construcción de estas instalaciones para la fecha determinada (100 %). |
| | **3.** Desarrollar e implantar planes de mitigación para la protección *in situ* de las plantas generatrices de energía que operan con combustible fósil cercanas a la costa o en ella a fin de permitir su operación durante la transición a las fuentes de energía renovables o alternativas.[6] Las futuras instalaciones de generación eléctrica deben estar ubicadas lejos de la costa. | AEE, Genera PR | $250,000 por plan de mitigación @ $250,000 por mW | AEE, Genera PR | Largo plazo (2030) | **R:** Planes de mitigación y operación de plantas de generación termoeléctricas en la costa o cercanas a ella implantados.<br>**M:** Cierre de plantas de carbón para 2028. Cierre de todas las plantas que operan con combustible fósil para 2050. |

[6] Este es un tema transversal que incide en los sectores infraestructura (sección 7.2) y de ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Evaluar y encaminar medidas que permitan garantizar los servicios básicos al sector del turismo. | **4.** Acelerar el programa de transición de la generación de energía eléctrica a energía renovable o alternativa con capacidad de almacenaje suficiente y el establecimiento de microrredes en los polos turísticos. | AEE / LUMA / Genera PR | Indeterminable | AEE, LUMA, Genera PR | Largo plazo (7 años) | **R:** Microrredes construidas para 2030<br>**M:** Adjudicación del contrato para la construcción de las microrredes para 2028. |
| | **5.** Acelerar las gestiones de la AAA para reducir la pérdida de agua en el sistema de distribución con el objetivo de suplir la demanda durante sequías. | AAA | Indeterminable | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (20 años) | **R:** Reducir la pérdida de agua de 60 % a 17 % en 20 años.<br>**M:** Reducción de la pérdida de agua de 60 % a 45 % a corto plazo; de 45 % a 30 % a mediano plazo. |
| | **6.** Realizar el dragado de embalses estratégicos y otros que suplen agua a la AAA con el propósito de aumentar la capacidad de almacenaje de agua que esté disponible en épocas de sequías. | AAA | $1,000 millones | AAA, FEMA y fondos propios de las entidades responsables | Corto, mediano y largo plazo (15 años) | **R:** Capacidad de almacenaje suficiente disponible en la época de sequías.<br>**M:** 30 % de los embalses estratégicos dragados a corto plazo, 60 % a mediano plazo y 100 % a largo plazo. |
| | **7.** Aumento de viajes diarios para el recogido de residuos durante la temporada pico del turismo. | Municipios | Indeterminable | Municipios | Corto plazo | **R:** Zonas turísticas con ambientes salubres y libres de acumulaciones de residuos en las áreas públicas.<br>**M:** Servicio de recogido de residuos al día en las áreas turísticas. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Evaluar y encaminar medidas que permitan garantizar los servicios básicos al sector del turismo. | **8.** Acelerar el establecimiento de estaciones de recarga de vehículos eléctricos que propicien el uso de estos autos para el transporte turístico con el efecto de reducir las emisiones de GEI. | AEE, LUMA | $200 millones | GPR, USDOT, Departamento de Energía federal (USDOE) y la Administración de Desarrollo Económico federal (EDA) | Mediano a largo plazo (5 a 10 años) | **R:** 50 % de las instalaciones públicas y privadas con estaciones de recarga para vehículos eléctricos en 2035.<br>**M:** Alcanzar la meta de que 50 % de las instalaciones públicas y privadas tenga estaciones de recarga para vehículos eléctricos. |
| **B.1.3** Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación a base de la incorporación de criterios de adaptación y resiliencia al cambio climático en planes, programas y políticas turísticas. | **1.** Diseñar un sistema de indicadores para el sector turístico (empresas turísticas) que segmente su efecto sobre:<br>**a.** Uso y abastecimiento de agua potable.<br>**b.** Uso y suministro de energía.<br>**c.** Generación y disposición de residuos.<br>**d.** Reciclaje.<br>**e.** Transporte aéreo, terrestre y marítimo.<br>**f.** Depuración de aguas residuales y reúso interno.<br>**g.** Uso de atención primaria de salud.<br>Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | IEPR, JP, DDEC, CTPR, DS, DSP, DRNA, Bomberos y Negociado del Cuerpo de Emergencias Médicas de Puerto Rico | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos, $150,000)[7] | CTPR | Corto plazo | **R:** Se aprueba un instrumento digital para el manejo de datos y su análisis mensual.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre el impacto medioambiental del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre la vulnerabilidad del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores de adaptación del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Mínimo de 2,000 empresas turísticas adheridas al sistema integral de gestión ambiental. |

[7] El costo estimado es total para las estrategias 1 a 4 del objetivo B.1.3.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.3** Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación a base de la incorporación de criterios de adaptación y resiliencia al cambio climático en planes, programas y políticas turísticas. | **2.** Diseñar un sistema de indicadores y variables de vulnerabilidad (sensibilidad, exposición y efectos) que incluya, entre otros:<br>**a.** Número de turistas atendidos en los servicios de emergencias en hospitales.<br>**b.** Percepción de los turistas sobre el clima del destino.<br>**c.** Datos climáticos.<br>**d.** Frecuencia de eventos climáticos extremos.<br>**e.** Daños económicos al sector turístico asociados a fenómenos extremos.<br>**f.** Porcentaje de infraestructuras turísticas localizadas en zonas vulnerables a eventos extremos y valor (económico, natural, social, etcétera) de las mismas.<br>**g.** Porcentaje de los recursos naturales (flora, fauna, recursos hídricos) vulnerables al cambio climático y porcentaje del turismo basado en la observación de dichos recursos.<br>**h.** Número y motivo de cancelación de reservaciones de hoteles.<br>**i.** Percepción de los turistas sobre la calidad estética del paisaje.<br>**j.** Porcentaje de espacios protegidos que se encuentran fragmentados o aislados de otros espacios.<br>**k.** Número de días con problemas de abasto de agua.<br>Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | IEPR, JP, DDEC, CTPR, DS, DSP, DRNA, Bomberos y Negociado del Cuerpo de Emergencias Médicas de Puerto Rico | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $150,000) | CTPR | Corto plazo | **R:** Se aprueba un instrumento digital para el manejo de datos y su análisis mensual.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre el impacto medioambiental del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre la vulnerabilidad del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores de adaptación del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Mínimo de 2,000 empresas turísticas adheridas al sistema integral de gestión ambiental. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.3** Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación a base de la incorporación de criterios de adaptación y resiliencia al cambio climático en planes, programas y políticas turísticas. | **3.** Diseñar un sistema de indicadores y variables de adaptación que incluya, entre otros:<br>**a.** Existencia de planes de contingencia o emergencia ante eventos climatológicos en zonas turísticas (porcentaje de área cubierta).<br>**b.** Número de habitaciones con sistemas de control de temperatura.<br>**c.** Número de áreas protegidas, zonas de interés turístico, regiones turísticas, ciudades, reservas, bosques o patrimonio (natural o cultural) que incluyen el tema de cambio climático en sus planes de uso y de gestión.<br>**d.** Inversión en programas de investigación y monitoreo.<br>Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | IEPR, JP, DDEC, CTPR, DS, DSP, DRNA, Bomberos y Negociado del Cuerpo de Emergencias Médicas de Puerto Rico | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $150,000) | CTPR | Corto plazo | **R:** Se aprueba un instrumento digital para el manejo de datos y su análisis mensual.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre el impacto medioambiental del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre la vulnerabilidad del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores de adaptación del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Mínimo de 2,000 empresas turísticas adheridas al sistema integral de gestión ambiental. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.3** Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación a base de la incorporación de criterios de adaptación y resiliencia al cambio climático en planes, programas y políticas turísticas. | **4.** Diseñar un sistema de indicadores y variables de mitigación que incluya, entre otros:<br>**a.** Consumo de combustible fósil por el sector turístico.<br>**b.** Consumo total de combustibles fósiles en el destino asociado al transporte de turistas.<br>**c.** Porcentaje de alojamientos con certificaciones ambientales según los parámetros de la ONU y la Organización Mundial del Turismo.<br>**d.** Número de habitaciones con sistemas de control de temperatura.<br>**e.** Iniciativas de conservación de energía en el sector turístico y sus resultados (porcentaje de reducción, número de establecimientos asociados a la iniciativa).<br>**f.** Número de establecimientos que se abastecen con energías renovables o alternativas.<br>**g.** Porcentaje de turistas que usan modos alternativos de transporte (colectivo, bicicletas, eléctrico u otros de bajo o ningún impacto).<br>**h.** Nivel de apoyo por parte del gobierno para el uso de modos de transporte no contaminantes.<br>Establecer política pública a estos efectos de manera que se implemente, ya sea mediante los instrumentos de planificación, reglamento o resolución normativa de la JP. | IEPR, JP, DDEC, CTPR, DS, DSP, DRNA, Bomberos y Negociado del Cuerpo de Emergencias Médicas de Puerto Rico | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $150,000) | CTPR | Corto plazo | **R:** Se aprueba un instrumento digital para el manejo de datos y su análisis mensual.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre el impacto medioambiental del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores sobre la vulnerabilidad del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Se crea un sistema de indicadores de adaptación del sector turístico ante el cambio climático.<br>**M:** Mínimo de 2,000 empresas turísticas adheridas al sistema integral de gestión ambiental. |
| | **5.** Fomentar el manejo sostenible de residuos en la cadena de valor del turismo. | ICP, Oficina Estatal de Conservación Histórica, los 78 municipios, DRNA, DA y CTPR | $150,000[8] | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Se desarrollan anualmente talleres de programas e iniciativas para el reciclaje y la reutilización de productos del sector turístico, consumo de productos locales (Km0), reúso de materiales y la transición hacia fuentes de energía renovable o alternativa.<br>**M:** Mínimo de 2 talleres anuales. |

[8] El costo estimado es total para las estrategias 5 a 7 del objetivo B.1.3.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **6.** Facilitar que las pymes turísticas adopten y desarrollen estrategias para crear nuevos productos, servicios y modelos de negocios bajo los principios del manejo sostenible de residuos.[9] | | | | Corto y mediano plazo | **R:** Nuevos productos, servicios y modelos de negocios para el manejo sostenible de residuos en el sector turístico.<br>**M:** Número anual de pymes turísticas que han implantado esas iniciativas. |
| **B.1.3** Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación a base de la incorporación de criterios de adaptación y resiliencia al cambio climático en planes, programas y políticas turísticas. | **7.** Desarrollar el turismo de naturaleza (aventura, ecoturismo y rural) con enfoque educativo considerando las capacidades de carga y uso del suelo. | ICP, Oficina Estatal de Conservación Histórica, los 78 municipios, DRNA, DA y CTPR | $150,000 | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Se crea y establece el programa de turismo de naturaleza.<br>**M:** Se identifican espacios naturales con vocación y potencial para los tipos de turismo de naturaleza.<br>**M:** Mínimo de 50 estudiantes de bachillerato o maestría en áreas de ciencias ambientales y marinas, manejo de vida silvestre y geografía, entre otras, integrados a la iniciativa como guías turísticos. A medio plazo, 100-150 estudiantes certificados anualmente. |

[9] Este es un tema transversal que incide en el sector de residuos (sección 7.4). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.4** Generar una base de datos que provea una visión comprensiva de las amenazas y oportunidades del sector turístico ante el cambio climático. | **1.** Organizar un registro digital de infraestructura turística en riesgo ante el cambio climático.<br><br>Colaborador potencial: JP (cuenta con bases de datos geoespaciales útiles para la implantación de esta estrategia). | ICP, Oficina Estatal de Conservación Histórica, los 78 municipios, DRNA, DA y CTPR | Costos operacionales de nómina (y contratación de expertos $350,000) | Fondos propios de las entidades responsables | Corto plazo | **R:** Se organiza el registro digital de infraestructura turística en riesgo ante el cambio climático.<br><br>**M:** Publicación en línea del registro de infraestructura turística en riesgo. |
| | **2.** Organizar el registro digital de haciendas azucareras, villas pesqueras, faros, reservas naturales y agrícolas, zonas de arqueología y otros activos históricos y culturales que apoyan al turismo en la montaña y en las áreas del oeste que están en riesgo ante el cambio climático.<br><br>Colaborador potencial: JP (cuenta con bases de datos geoespaciales útiles para la implantación de esta estrategia). | | | | | **R:** Se organiza el registro digital de haciendas azucareras, villas pesqueras, faros, reservas naturales y agrícolas y zonas de arqueología y otros activos de interés turístico en riesgo ante el cambio climático.<br><br>**M:** Publicación en línea del registro de haciendas azucareras, villas pesqueras, faros, reservas naturales y agrícolas y zonas de arqueología en riesgo ante el cambio climático. |
| | **3.** Elaborar del primer registro digital estatal de rutas turísticas, festivales, ferias y eventos definiendo su impacto y categoría entre municipal, regional, estatal o internacional y sus efectos sobre los recursos naturales y el cambio climático.<br><br>Colaborador potencial: JP (cuenta con bases de datos geoespaciales útiles para la implantación de esta estrategia). | | | | | **R:** Se organiza el registro digital estatal de rutas turísticas, festivales, ferias y eventos y su clasificación y sus efectos sobre el cambio climático y los recursos naturales.<br><br>**M:** Publicación en línea del registro de rutas turísticas, festivales, ferias y eventos y su clasificación. |

**COA B.2: Identificar instalaciones hospitalarias donde los turistas puedan acudir cuando necesiten atención médica. Se anticipa un incremento en la cantidad de turistas que necesiten atención médica por el aumento de días con temperaturas extremas, aumentos de días con aire insalubre por episodios de polvo del Sahara y contaminación de las playas con patógenos.**

**Mejores prácticas:**

Véanse las mejores prácticas de COA B.1.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Asegurar que el turista tendrá acceso a cuidados médicos de surgir una necesidad a pesar del impacto que el cambio climático tendrá sobre ciertas instalaciones médicas. | **1.** Incrementar la capacidad de los hospitales que no se afectarán por el aumento del nivel del mar para compensar la pérdida prevista de las instituciones hospitalarias más vulnerables a este fenómeno. | DS | Indeterminable | Fondos de IRA | Mediano plazo | **R:** Acceso de los turistas a cuidados médicos.<br>**M:** Identificar en un año las instalaciones médicas que deben ampliarse para ofrecer el servicio a los turistas.<br>**M:** A mediano plazo, ampliar las instalaciones de los hospitales seleccionados para atender las necesidades turísticas a la luz del cierre de instalaciones médicas vulnerables al aumento del nivel del mar y otras manifestaciones del cambio climático. |

## C. Promover la educación y sensibilización de los proveedores de turismo, líderes del turismo, el personal y los turistas.

### COA C.1: Desarrollar y promover una cultura turística consciente de las amenazas y oportunidades del cambio climático.

**Mejores prácticas:**

- Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España. https://adaptecca.es/
- *European Climate Adaptation Plataform Climate-ADAPT.* https://climate-adapt.eea.europa.eu/
- Aula Patrimonio, Ciudades Patrimonio de la Humanidad, España. https://www.ciudadespatrimonio.org/cuidadodelpatrimonio/index.php?id=100&curso=20221
- Turismo sostenible, ECOMARB, Marbella, Málaga, España. https://www.ecomarb.com/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Diseñar y establecer programas educativos que fomenten el conocimiento y la resiliencia sobre el cambio climático aplicado al sector turístico. | **1.** Establecer un programa educativo k-12 llamado Turisteando en mi País que fomente el aprendizaje sobre el cambio climático y sus efectos, donde se incluyan las responsabilidades como turista cuando se hace turismo interno en Puerto Rico con la familia.[10] | CTPR y DE | $200,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se establece el programa Turisteando en mi País.<br>**M:** Número de escuelas k-12 que participan en el programa Turisteando en mi País.<br>**M:** Corto plazo: 50 % de las escuelas k-12 con el programa Turisteando en mi País.<br>**M:** Mediano plazo: 100 % de las escuelas k-12 con el programa Turisteando en mi País. |

[10] Este es un tema transversal que incide en el sector de educación (sección 7.11). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en el sector mencionado, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, los COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.2** Diseñar y establecer programas formativos o de educación continua para el sector turístico ante el cambio climático. | **1.** Establecer que los prestadores de servicios turísticos tomen cursos mandatorios anuales sobre el cambio climático como requisito para obtener, renovar o mantener licencias o endosos que ofrece la CTPR. | CTPR | $300,000[11] | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se establecen cursos mandatorios sobre el cambio climático como requisito para obtener, renovar o mantener licencias o endosos que ofrece la CTPR.<br>**M:** Corto plazo: más de 70 % de los prestadores de servicios turísticos con al menos una capacitación sobre el cambio climático.<br>**M:** Mediano plazo: 100 % de los prestadores capacitados en el tema de cambio climático. |
| | **2.** Incrementar la conciencia de los visitantes y los proveedores de servicio turístico acerca del cambio climático mediante módulos, plataformas digitales y campañas publicitarias (PACC 2016). | | | | | **R:** Se promueve la educación en cambio climático a turistas y proveedores del sector turístico.<br>**M:** Corto y mediano plazo: 6-12 módulos, material en línea y 6 campañas publicitarias anuales sobre acciones relacionadas con el cambio climático. |

[11] El costo estimado es total para todas las estrategias del objetivo C.1.2.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.2** Diseñar y establecer programas formativos o de educación continua para el sector turístico ante el cambio climático. | **3.** Desarrollar módulos educativos enfocados en el cambio climático y los efectos de eventos extremos en Puerto Rico para ofrecerlos en actividades recurrentes realizadas y patrocinadas por la CTPR (PACC 2016). | CTPR | $300,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se imparten los cursos mandatorios diseñados y establecidos sobre turismo y cambio climático.<br>**M:** Corto y mediano plazo: mínimo de 6 cursos anuales. |
| | **4.** Crear una base de datos que administre la CTPR a la que los prestadores del sector turístico puedan acudir a fin de recibir asistencia técnica y financiera para acciones relacionadas con el cambio climático (PACC 2016). | | | | | **R:** Se genera una base de datos digital para asistencia técnica y financiera a empresas turísticas sobre acciones ante el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: publicación en línea de la base de datos. |
| **C.1.3** Establecer un fondo anual de auspicio a entidades reconocidas en la educación sobre temas de cambio climático. | **1.** Por medio de un programa de auspicios, generar alianzas con entidades reconocidas que trabajen en la educación sobre el cambio climático y que incorporen módulos de las responsabilidades de los residentes locales cuando hacen turismo interno. | CTPR | $1 millón | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se otorgan auspicios a entidades que trabajan en temas de cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: número de auspicios otorgados a entidades que fomentan la educación sobre el cambio climático. |
| **C.1.4** Diseñar y establecer un programa dirigido a los productores de ferias, festivales y congresos que reciban auspicios de la CTPR para informar sobre el cambio climático y cómo desde sus eventos pueden educar sobre este y sus efectos. | **1.** Requerir que las promociones que se paguen con este tipo de auspicios sean en formato digital o en papel reciclado.<br>**2.** Requerir que en los eventos auspiciados se utilicen materiales biodegradables o reciclados cuando estén disponibles para hojas sueltas, cubiertos, etcétera.<br>**3.** Requerir que el evento auspiciado tenga un programa de reciclaje para disponer de los residuos sólidos. | CTPR y empresas productoras de eventos | $0 | Empresas productoras de eventos auspiciados por la CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Eventos auspiciados por la CTPR adoptan publicidad en formato digital y papel reciclado; materiales biodegradables y programas de reciclaje.<br>**M:** A corto plazo: 50 % de los eventos auspiciados, y a mediano plazo, 100 %. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.5** Fomentar la formación profesional especializada, y con ello la investigación y educación en temas de cambio climático, planificación y turismo. | **1.** Establecer un programa de becas de maestría para estudiantes del sistema de la UPR cuyo trabajo de final de carrera se enfoque en temas de turismo, planificación y cambio climático.<br>**2.** Establecer un programa de becas de bachillerato para estudiantes del sistema de la UPR en programas especializados en cambio climático, biología marina, manejo de vida silvestre y agricultura sostenible, entre otros programas. | CTPR | $1 millón | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se establece el programa de becas para trabajos finales de maestría o de bachillerato en áreas especializadas.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 50 becas de maestrías y 50 de bachillerato anuales, y a mediano plazo, 100 de cada una. |
| | **3.** Establecer un programa de formación para estudiantes del sistema de la UPR con concentración en cambio climático, geografía, biología marina, manejo de vida silvestre, agricultura sostenible, agronomía, hoteles y restaurantes, gestión cultural, arte y arquitectura, entre otros programas, para que al finalizar sus carreras obtengan las licencias de guía turístico con especialidad según su concentración. | | | | | **R:** Se establece el programa para otorgar licencias de guía turístico especializado a estudiantes de la UPR.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 50 licencias de guía turístico otorgadas anualmente a estudiantes del sistema de la UPR. A mediano plazo, 100 licencias. |
| **C.1.6** Diseñar y establecer un programa de investigación en turismo y cambio climático. | **1.** Establecer un programa de investigadores (con incentivo económico) dentro del sistema de la UPR que fomente la investigación en temas de cambio climático y turismo. | CTPR | $500,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se establece un programa de investigación sobre temas de cambio climático y turismo.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 5 investigadores contratados y 10 publicaciones realizadas anualmente. A mediano plazo, 15 investigadores y 25 publicaciones anuales. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.7** Concienciar a los actores del sector turístico sobre el cambio climático y las medidas de adaptación y mitigación (PACC 2016). | **1.** Revisar todo el material de educación, promoción, publicidad y mercadeo de la CTPR para incorporar el tema del cambio climático. | CTPR | $300,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se incorporan conceptos y estrategias de cambio climático a materiales de educación, promoción, publicidad y mercadeo de la CTPR.<br><br>**M:** Corto plazo: número de materiales revisados para incorporar el tema del cambio climático. |
| | **2.** Moverse hacia un modelo de producción digital para todo material de educación, promoción, publicidad y mercadeo. | | | | | **R:** Se establece como estrategia de la CTPR moverse a un modelo de educación, promoción, publicidad y mercadeo digital.<br><br>**M:** Corto plazo: 100 % del material transferido a formato digital.<br><br>**M:** Corto plazo: número de materiales transferidos a formato digital. |
| | **3.** Desarrollar material digital sobre actividades turísticas de acuerdo con las condiciones climáticas. Por ejemplo, ¿qué hacer cuando hay olas de calor o lluvia? Panfletos digitales para los proveedores de servicios que puedan ser compartidos también con los turistas. | | | | | **R:** Se genera material digital promocional sobre posibles actividades turísticas según las condiciones climáticas.<br><br>**M:** Corto plazo: número de nuevo material producido solamente en formato digital. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.8** Establecer un programa de adiestramiento para el personal de la CTPR a fin de integrar el tema del cambio climático en la gestión y responsabilidad de cada área de trabajo. | **1.** Identificar y clasificar las diversas áreas de trabajo que ofrecen servicios directos a los proveedores de turismo u otros clientes externos para alinear la capacitación de acuerdo con sus diversas labores y objetivos. | CTPR | $85,000[12] | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se establece como orden administrativa de la CTPR que toda área de trabajo tenga que capacitarse y hacer lo que le corresponde de acuerdo con su servicio, y que los informes de acción se le presenten a la División de Turismo Sostenible como gerente de la iniciativa.<br>**M:** Corto plazo: publicación de la orden administrativa |
| | **2.** Asignar a un líder del personal por cada área de trabajo para dar seguimiento al plan de capacitación y su implantación integrada con fechas determinadas. | | | | | **R:** Se identifican y designan líderes por área de trabajo en CTPR para acciones contra el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: 100 % de las áreas de trabajo con líderes asignados.<br>**M:** Corto plazo: número de líderes asignados en cada área de trabajo de la CTPR. |
| | **3.** Coordinar una serie de charlas educativas, desde lo general para todo el personal hasta lo específico para ciertas áreas de trabajo. | | | | | **R:** Se desarrollan charlas educativas sobre el cambio climático a personal de la CTPR.<br>**M:** Corto y mediano plazo: mínimo de 4 charlas anuales. |

[12] El costo estimado es total para todas las estrategias de los objetivos C.1.8 y C.1.9.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.8** Establecer un programa de adiestramiento para el personal de la CTPR a fin de integrar el tema del cambio climático en la gestión y responsabilidad de cada área de trabajo. | **4.** Solicitar informes de retroalimentación y seguimiento para cada área de trabajo con servicios directos. | CTPR | | | | **R:** Se reciben informes anuales por área de trabajo de la CTPR sobre acciones ante el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 6 informes anuales. |
| **C.1.9** Establecer un programa de adiestramiento dirigido a los proveedores de servicios al turismo sobre las repercusiones del cambio climático en el destino y sus operaciones. | **1.** Establecer un plan de adiestramiento dirigido a esta audiencia específica.<br>Colaborador potencial: sector empresarial turístico. | CTPR | $85,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Implantación de un plan de acción integrando a los gremios de la industria para garantizar el mayor resultado de capacitación.<br>**M:** Corto plazo: número de miembros del sector turístico que se integran a la gestión de la CTPR ante el cambio climático. |
| | **2.** Trabajar con el modelo de *Train the Trainers* para asegurar la continuidad en la capacitación, más allá del cambio o rotación de empleados en la industria. | | | | | **R:** Se ofrecen talleres anuales o inspecciones a empresas turísticas.<br>**M:** 50 % a corto plazo y 100 % a mediano plazo. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.9** Establecer un programa de adiestramiento dirigido a los proveedores de servicios al turismo sobre las repercusiones del cambio climático en el destino y sus operaciones. | **3.** Solicitar informes de retroalimentación y cantidad de empleados capacitados. | CTPR | $85,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Creación de una presentación educativa con hoja de evaluación que deba ser completada como requisito para diversas solicitudes, tales como: incentivos, turismo náutico, guías turísticos, endoso promocional y auspicios de eventos especiales.<br>**M:** Corto plazo: número de hojas de evaluación recibidas al año. |
| | **4.** Integrar a organizaciones de la industria para que se unan al esfuerzo integrando a su matrícula.<br>Colaboradores potenciales: la Asociación de Hoteles y Turismo de Puerto Rico, la Asociación Dueños de Paradores, la Asociación de *Bed and Breakfasts* de Puerto Rico y la Asociación Puertorriqueña de Agencias de Viaje. | | | | | **R:** Se generan acuerdos con organizaciones del sector turístico sobre acciones contra el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 2 acuerdos de alianza o de entendimiento en los esfuerzos anualmente. |
| | **5.** Establecer como criterio compulsorio el cumplimiento de la capacitación sujeto al otorgamiento de beneficios por parte de la CTPR (auspicio, endoso, licencia, etcétera). | | | | | **R:** Se establece como criterio compulsorio la capacitación sobre el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: aprobación de enmienda a reglamentos para establecer la capacitación compulsoria sobre el cambio climático. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.10** Integrar un programa educativo sobre el cambio climático en las campañas y comunicados turísticos, a través de la coordinación con el personal de comunicaciones, promoción y mercadeo de la CTPR. | **1.** Identificar a las empresas turísticas certificadas o endosadas con prácticas destacadas y resaltarlas a través de diversos medios (vídeos, publicaciones). | CTPR | $2 millones | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se identifican las empresas turísticas con prácticas relacionadas con el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: identificadas las empresas turísticas con prácticas relacionadas con el cambio climático. |
| | **2.** Crear concursos y premios que resalten acciones de mitigación, adaptación y resiliencia. | | | | | **R:** Se celebran concursos o se ofrecen premios sobre acciones de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: mínimo de 2 concursos y premios anuales conferidos a empresas turísticas por sus acciones en torno al cambio climático. |
| | **3.** Crear campañas de acciones dirigidas a los turistas, de acuerdo con las diferentes edades. | | | | | **R:** Se desarrollan campañas para turistas sobre el cambio climático.<br>**M:** Corto plazo: número de campañas climáticas cada año. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.11** Proveer herramientas de capacitación y respuesta a los proveedores de servicios al turismo en temas como olas de calor. | **1.** Proveer charlas educativas a guías turísticos y empresas de excursiones. | Departamento de Salud y CTPR | $10,000 | CTPR | Corto y mediano plazo | **R:** Se imparten charlas anuales sobre olas de calor ofrecidas a los proveedores de servicios al turismo.<br>**M:** Corto plazo: número de charlas y número de asistentes por charla. |
| | **2.** Hacer alianzas con organizaciones o especialistas que sirvan de apoyo para educar a los proveedores del turismo por diversos temas de especialización. | | | | | **R:** Se generan alianzas para proveer educación especializada a proveedores de productos o servicios turísticos.<br>**M:** Corto plazo: número de nuevas alianzas establecidas o en proceso de pactar, o número de alianzas firmadas con organizaciones o especialistas. |

**Tabla 7.11.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **educación**.

**A. Contribuir al impulso del conocimiento del cambio climático, el reciclaje, [la] conservación de agua y energía, y la consolidación de las buenas prácticas en este ámbito, incluyendo, investigación o análisis con relación al clima, los efectos del cambio climático en torno a los ecosistemas terrestres y marinos, los recursos hídricos, las eficiencias energéticas, las energías renovables, la mitigación y la adaptación al cambio climático y los instrumentos económicos con incidencia directa o indirecta sobre el cambio climático.**

**COA A.1: Crear e implantar en todas las escuelas de los sistemas público y privado un cambio curricular que integre el tema transversal de conciencia sobre el cambio climático, para todas las clases, desde los grados k-12.**

**Mejores prácticas:**

- Revisión de contenidos sobre el cambio climático en el currículo escolar (España). https://seo.org/wp-content/uploads/2021/05/Informe_-Curriculum_Escuelas_Cambio_Climatico_SEO_BirdLife.pdf
- Fichero de Actividades de Sensibilización Ambiental y Propuestas Didácticas para el Desarrollo del Currículo (España). https://www.juntadeandalucia.es/educacion/portals/delegate/content/12ec2b86-7321-43b9-aef7-4e8f1c64f5e4
- Currículo para una educación ecosocial frente a la emergencia climática (España). https://drive.google.com/file/d/1BmmhrEcSF30RRb2zIFBJOH--pCL3FiSc/view
- Acción por el clima en los centros educativos: Metodología (España). https://redciudadesclima.es/sites/default/files/2022-06/Metodologia.pdf
- La educación climática como una medida de adaptación al cambio climático (México). https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5640/10.pdf
- Estrategia pedagógica para crear conciencia ambiental frente al cambio climático en la IE Santa Rosa de la Caña, Municipio de Los Córdobas (Colombia). https://repository.libertadores.edu.co/items/70f690f5-fbf3-4c15-87e4-d2276f9e0d35
- Efectos de la educación ambiental acerca del cambio climático en una Escuela Rural (Colombia). https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/2013/Uriel_Benitez_%20Proyecto%202019.pdf;jsessionid=F522ACEFAC93A8CA8BA7A0865FE0201C?sequence=1

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Desarrollar y establecer un nuevo currículo permanente con el tema del cambio climático como eje integrador en la planificación del proceso de enseñanza-aprendizaje. [...] | **1.** Realizar un cambio curricular en las áreas académicas que tenga al cambio climático como tema integrador. El alcance de la revisión curricular debe cubrir todos los grados incluyendo kínder hasta duodécimo. Realizar encuestas periódicas, como parte de las pruebas rutinarias de medición de aprovechamiento académico, para medir los resultados del aprendizaje climático. [...] | DE | $10 millones[4] | Gobierno estatal y gobierno federal [...] | Corto plazo (0 a 3 años) | **R (A.1.1):** Informe anual del DE sobre los logros alcanzados por región con las actividades, proyectos y conocimiento adquiridos por los estudiantes sobre el nuevo currículo que integra el tema del cambio climático. [...] |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

[4] El costo estimado es total para todas las acciones incluidas en los primeros cuatro objetivos.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Desarrollar y establecer un nuevo currículo permanente con el tema del cambio climático como eje integrador en la planificación del proceso de enseñanza-aprendizaje. El cambio curricular debe ser significativo y consistente con la situación actual del país y sus retos. | [...]<br>**2.** Integrar en todas las escuelas de los sistemas público y privado la enseñanza sobre el cambio climático con ejemplos concretos de sus efectos en Puerto Rico. A través de este nuevo currículo se espera que los estudiantes puedan comprender la pertinencia de este tema para el país, a corto y largo plazo.<br>**3.** El cambio curricular debe desarrollarse en consulta con expertos en el cambio climático y debe incluir los temas generadores con sus indicadores, según lo establecido en este plan (ver en la sección de Anejos la **Guía para la revisión curricular e integración de temas desde K-12 para escuelas públicas y privadas**). | DE | $10 millones | Gobierno estatal y gobierno federal (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos [NIEHS], la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA] y la Fundación Nacional de Ciencias [NSF]) | Corto plazo (0 a 3 años) | [...]<br>**M (estrategias 1-3):** Cada 2 años se revisan los mapas curriculares para integrar nuevos hallazgos y temas relacionados con el cambio climático que incidan en el país.<br>**M (estrategia 4):** Enmiendas al Reglamento para el Licenciamiento de Instituciones de Educación Postsecundaria en Puerto Rico Núm. 9272 y al Reglamento para el Licenciamiento de Instituciones de Educación Superior Núm. 8265 (2012) solicitando a cada institución que integre a sus currículos los temas del cambio climático y la preparación y manejo de desastres naturales. |
| | **4.** Solicitar a toda institución privada de educación superior y postsecundaria un currículo de cambio climático integrado a los ofrecimientos académicos. El fin es que todo estudiante conozca sobre los asuntos que afectan al país y cómo prepararse a corto y largo plazo. | Consejo de Educación de Puerto Rico | | | | |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Realizar un diagnóstico sobre el perfil sostenible del plantel escolar. Establecer medidas para crear una comunidad escolar de conciencia, investigación y desarrollo de política pública sobre el cambio climático en Puerto Rico. | **1.** Realizar por escuela un diagnóstico del perfil sostenible utilizando el **Perfil de estructuras sostenibles** (ver en Anejos). Cada director debe establecer un plan de acción a corto y largo plazo que presente las medidas a adoptar para atender las áreas de necesidad y establecer una comunidad escolar consciente del cambio climático y sus efectos. Este plan debe incluir al menos dos orientaciones compulsorias al año por familia-estudiante sobre aspectos importantes del cambio climático y cómo realizar un plan familiar con el fin de adaptarse y prepararse para los eventos relacionados. | DE | $10 millones | Gobierno estatal y gobierno federal (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos [NIEHS], la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA] y la Fundación Nacional de Ciencias [NSF]) | Corto plazo (0 a 3 años) | **R:** Informe anual por parte de las siete regiones educativas que presente el perfil de sus respectivas escuelas y el plan de acción inmediata, a corto y largo plazo, para atender los temas del cambio climático y la sostenibilidad.<br><br>**M:** Cada escuela debe contar con un perfil sostenible y plan de acción discutido con la facultad y la comunidad escolar. Revisión del perfil y el plan al inicio de cada año escolar para actualizarlo según las necesidades y cambios en la escuela. |
| | **2.** Fomentar el **aprendizaje basado en problemas (ABP)** en la comunidad escolar por medio de proyectos de investigación y ferias científicas para generar interés y cambio en la percepción de los estudiantes sobre la gestión ambiental ciudadana como respuesta afirmativa ante el cambio climático. | | | | | **R:** Informe de logros sobre los proyectos de investigación basados en ABP y avalúo del aprendizaje sobre el cambio climático.<br><br>**M:** Aumento en la participación de los estudiantes en proyectos de integración curricular e investigación sobre los efectos del cambio climático aplicados a Puerto Rico. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.2** Realizar un diagnóstico sobre el perfil sostenible del plantel escolar. Establecer medidas para crear una comunidad escolar de conciencia, investigación y desarrollo de política pública sobre el cambio climático en Puerto Rico. | **3.** Desarrollar por escuela proyectos de integración curricular para que los estudiantes, maestros y demás miembros de la comunidad escolar conozcan diversas áreas de interés sobre el tema transversal de la conciencia ecológica y ambiental. | DE | $10 millones | Gobierno estatal y gobierno federal (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos [NIEHS], la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA] y la Fundación Nacional de Ciencias [NSF]) | Corto plazo (0 a 3 años) | **R:** Informe de la Oficina Regional Educativa sobre el número de familias que recibieron orientaciones de las escuelas para la preparación familiar ante el cambio climático.<br>**M:** Aumento en el número de familias participantes en las orientaciones sobre el cambio climático, sus manifestaciones y la preparación de un plan familiar. |
| | **4.** Aumentar la participación de los docentes y estudiantes en el programa educativo Estudiante Legislador, de la Oficina de Participación Ciudadana (Oficina de Servicios Legislativos). Este programa está dirigido a estudiantes de octavo grado en adelante para promover la integración del tema legislativo en el salón de clases y la participación de los estudiantes en la creación de proyectos de ley. | | | | | **R:** Proyectos de ley, ponencias o participación en vistas públicas por parte de los estudiantes de las escuelas del país.<br>**M:** Aumento en la participación de estudiantes y maestros en el programa Estudiante Legislador. Número de escuelas participantes en ponencias, vistas públicas y proyectos de ley. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.3** Organizar conocimientos y experiencias sobre el cambio climático y las medidas de mitigación, adaptación y resiliencia asociadas, el perfil ambiental de Puerto Rico, la conservación de los recursos naturales y el manejo de emergencias ante desastres naturales. Estos conocimientos y experiencias deben considerar el nivel de desarrollo del alumno, su medio sociocultural y familiar, el currículo y los recursos disponibles en las escuelas. | **1.** Establecer una base de datos en línea sobre expertos en el cambio climático, educación ambiental, conservación de recursos naturales y manejo de emergencias ante desastres naturales. Hacerla accesible en las páginas oficiales del Departamento de Educación y del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales para que todos los docentes, *homeschoolers* y el público en general puedan consultarla y utilizarla como referencia en sus proyectos e iniciativas.<br>**2.** Documentar y divulgar las investigaciones, proyectos, actividades y capacitaciones que las escuelas realicen en sus respectivas regiones como base fundamental de la intención institucional de promover y divulgar la enseñanza sobre el cambio climático en Puerto Rico. | DE | $10 millones | Gobierno estatal y gobierno federal (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos [NIEHS], la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA] y la Fundación Nacional de Ciencias [NSF]) | Mediano plazo (7 a 10 años) | **R:** Base de datos establecida y accesible. Documentación y divulgación de información sobre las capacitaciones en las respectivas regiones.<br>**M:** Aumento de 70 % o más en el conocimiento de los estudiantes sobre el cambio climático y el manejo de los recursos naturales.<br>**M:** Progreso evidente a través de los informes anuales de evaluación que las escuelas presentan a las respectivas regiones (Programa de Ciencias del DE). |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.4** Regular la práctica de los contenidos sobre el cambio climático, seleccionando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que permitan conseguir las pautas metodológicas con las que se trabajará y las experiencias de enseñanza-aprendizaje necesarias. Esta revisión curricular proveerá uniformidad al contenido sobre el cambio climático que se imparte en las escuelas desde los grados k-12. | **1.** Integrar en el plan de trabajo de cada escuela experiencias de campo y visitas a reservas naturales, bosques y humedales, entre otros ecosistemas, para fomentar un mayor sentido de pertenencia en el estudiantado. Las experiencias de campo y visitas ofrecen un escenario de enseñanza-aprendizaje a base de la investigación y búsqueda de soluciones a los problemas que enfrenta el país.<br>**2.** Propiciar experiencias que permitan a los estudiantes conocer sobre: emisiones de gases de efecto de invernadero, fenómeno isla de calor, erosión costera, sistemas ciclónicos, aumento del nivel del mar, acidificación de los océanos, deterioro de los ecosistemas terrestres y marinos de Puerto Rico, calidad del aire, uso y conservación del recurso agua, residuos sólidos, energía y transportación, agricultura y uso de terrenos, economía circular, turismo sostenible y justicia climática. | DE | $10 millones | Gobierno estatal y gobierno federal (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos [NIEHS], la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA] y la Fundación Nacional de Ciencias [NSF]) | Largo plazo (10 a 15 años)<br>Corto plazo | **R:** Práctica de los contenidos sobre el cambio climático regulada.<br>**M:** Revisión curricular de los mapas, estándares y expectativas que atiendan el tema transversal del cambio climático.<br>**M:** A corto y largo plazo: todas las escuelas públicas integran el tema del cambio climático y la conservación de los recursos naturales de manera transdisciplinaria en todas las clases y grados. Se espera que puedan evidenciar de manera cuantitativa el proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación y búsqueda de soluciones a los problemas ambientales que enfrenta el país.<br>**M:** Mayor número de estudiantes participantes en las ferias científicas del programa de Ciencias a nivel regional e internacional. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.5** Desarrollar una cultura de conservación y buen manejo del recurso agua en la sociedad puertorriqueña.[5] | **1.** Promover y apoyar estrategias y acciones orientadas al desarrollo profesional continuo de científicos, ingenieros, administradores y responsables de elaborar políticas en materia de agua.<br>Colaboradores potenciales: DRNA y Departamento de Agricultura. | AAA | $50,000[6] | Gobierno estatal y federal (EPA) | Mediano plazo | **R:** Mayor número de cursos, charlas o talleres sobre el manejo del recurso agua ofrecidos a profesionales relacionados con el tema (como científicos, ingenieros, administradores, comerciantes y agricultores) para su desarrollo continuo.<br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre las estrategias y acciones orientadas al desarrollo continuo de profesionales que manejen el recurso agua. El informe establece porcentualmente la cantidad de profesionales atendidos en reuniones, con incremento anual de esa participación. |

[5] Este es un tema transversal que incide en los sectores de infraestructura (sección 7.2) y agua (sección 7.7). Aunque la estrategia se asemeja a otras incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada una se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[6] El costo estimado es total para todas las acciones incluidas en el objetivo A.1.5.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.5** Desarrollar una cultura de conservación y buen manejo del recurso agua en la sociedad puertorriqueña. | **2.** Aumentar la participación ciudadana en los procesos de manejo y planificación del recurso agua. Especialmente, fomentar la integración de los sectores de conservación (DRNA, agencias y grupos comunitarios) y agricultura (agricultores). | AAA | $50,000 | Gobierno estatal y federal (EPA) | Mediano plazo | **R:** Mayor número de reuniones entre grupos comunitarios, líderes ambientales y la AAA para trabajar estrategias de conservación del recurso agua con personas de diferentes sectores y edades.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre los esfuerzos para aumentar la participación ciudadana en los procesos de manejo y planificación del recurso agua. El informe establece porcentualmente la población atendida en reuniones, con incremento anual de esa participación. |
| | **3.** Aumentar las visitas técnicas a las plantas de tratamiento de agua, comenzando a nivel escolar con estudiantes, líderes comunitarios y ONG, entre otros, para que puedan conocer el proceso de tratamiento y apliquen el aprendizaje sobre la importancia de cuidar el recurso agua. | | | | | **R:** Mayor número de participantes en las visitas técnicas para conocer los procesos de tratamiento y cuidados del recurso agua.<br><br>**M:** Informe anual de las visitas técnicas y su impacto en los participantes y en sus proyectos e investigaciones. El informe incluye una evaluación porcentual que establece la métrica del conocimiento adquirido en la visita ocular o técnica. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.5** Desarrollar una cultura de conservación y buen manejo del recurso agua en la sociedad puertorriqueña. | **4.** Colocar letreros en lugares públicos, agencias, escuelas, hospitales, universidades y dependencias municipales para informar medidas prácticas de uso responsable del recurso agua. | AAA | $50,000 | Gobierno estatal y federal (EPA) | Mediano plazo | **R:** Mayor número de letreros en lugares públicos, agencias, escuelas, hospitales, universidades y dependencias municipales con información sobre medidas prácticas para usar responsablemente el recurso agua.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre los materiales interdisciplinarios desarrollados, tales como directrices, informes, programas y estudios relacionados con la educación para la seguridad hídrica, el número de letreros colocados anualmente y su ubicación. |

**COA A.2: Crear un programa compulsorio de manejo de los residuos sólidos enfocado en la educación e investigación hacia la reducción, el reúso y el reciclaje.**[7]

**Mejores prácticas:**

- Plan de reciclaje obligatorio para establecimientos escolares (Chile). https://www.bcn.cl/delibera/show_iniciativa?id_colegio=2266&idnac=2&patro=0&nro_torneo=2017
- Elaboración de un programa de educación ambiental en el manejo adecuado de los residuos sólidos para el corregimiento de Chorrera - Juan de Acosta (Colombia). https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/6420/Elaboraci%C3%B3n%20de%20un%20programa%20de%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20en%20el%20manejo%20adecuado%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20para%20el%20corregimiento%20de%20Chorrera%20-%20Juan%20de%20Acosta.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Recapacicla: Programa de Educación Ambiental sobre Residuos y Reciclaje de la Junta de Andalucía (España). https://www.juntadeandalucia.es/educacion/portals/web/aldea/recapacicla
- Mejoramiento en el manejo de los residuos sólidos en los estudiantes de la institución educativa agropecuaria Bomboná sede Simón Bolívar (Colombia). https://core.ac.uk/reader/250156090
- Basura Cero en mi Escuela, programa escolar de separación y reciclaje (México). http://www.cec.org/es/north-american-partnership-for-environmental-community-action/napeca-grants/basura-cero-en-mi-escuela-programa-escolar-de-separacion-y-reciclaje/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Establecer un programa de manejo de residuos sólidos en todas las escuelas del sistema público, agencias del gobierno, municipios, hospitales públicos y la Universidad de Puerto Rico (UPR). El programa debe fomentar principalmente la reducción, luego el reúso y el reciclaje.<br><br>**A.2.2** Orientar a la población para que compre productos preferiblemente duraderos, reusables y que se puedan reparar. | **1.** Ofrecer talleres de orientación anualmente a través de la creación de un programa sobre los residuos sólidos y su manejo adecuado, que priorice la reducción, y luego el reúso y el reciclaje. Los talleres estarán disponibles para:<br>**a.** comunidades escolares y universitarias,<br>**b.** empleados de agencias gubernamentales,<br>**c.** todas las dependencias municipales,<br>**d.** asociaciones de residentes,<br>**e.** asociaciones de condominios y urbanizaciones con control de acceso,<br>**f.** líderes comunitarios,<br>**g.** sector comercial,<br>**h.** convocatorias abiertas para el público en general en zonas urbanas y rurales.<br><br>Colaborador potencial: UPR. | DRNA | $50,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (Agencia de Protección Ambiental [EPA] y NOAA) | Corto plazo | **R:** Mayor número de talleres de orientación ofrecidos anualmente sobre los residuos sólidos y su manejo adecuado.<br><br>**M:** Informe anual sobre la creación y puesta en marcha de un programa de manejo de residuos sólidos por parte de las entidades responsables que incluya el número de talleres ofrecidos, y su alcance e impacto en los participantes. |

[7] Este es un tema transversal que incide en el sector de residuos sólidos (sección 7.4). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA o estrategias incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.3** Presentar material educativo con información detallada de los residuos que se pueden reducir, reusar y reciclar. El material debe explicar la información en forma sencilla e inclusiva, tomando en cuenta a las personas con diversidad funcional (entre ellas, personas no videntes) y a la población de adultos mayores. | **1.** Colocar letreros visibles al público en las agencias gubernamentales, dependencias municipales, la UPR, escuelas y hospitales públicos sobre el material que se debe reducir, reusar y reciclar, y los beneficios directos que estas acciones tienen para el país. Estos letreros deben estar visibles en lugares cerca de los zafacones y baños, entre otros espacios donde se generen residuos. | DRNA y municipios | $10,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (Agencia de Protección Ambiental [EPA] y NOAA) | Mediano plazo | **R:** Letreros colocados en las oficinas de todas las entidades responsables con información sobre los materiales que se deben reducir, reusar y reciclar, y los beneficios directos que estas acciones tienen para el país.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre la cantidad y ubicación de los letreros educativos en torno a los residuos que se pueden reducir, reusar y reciclar, con un vocabulario sencillo e inclusivo para todo tipo de persona con diversidad funcional. |
| **A.2.4** Crear un comité en el Departamento de Educación, la UPR, hospitales públicos, agencias y en cada municipio, que procure y fomente el cumplimiento del programa de manejo responsable de los residuos sólidos. Este comité debe tener entre sus miembros a personas de la comunidad para promover la participación ciudadana en la toma de decisiones. | **1.** Evaluar anualmente el cumplimiento del programa de manejo de residuos en las escuelas del DE, en cada municipio, hospitales y los respectivos recintos y escuelas laboratorio de la UPR. El comité se encargará de establecer las medidas correctivas y actividades educativas para mejorar el manejo de los residuos en su sector, a base de un análisis que realizará sobre la reducción, el reúso y el reciclaje que lleva a cabo su sector anualmente. | | $10,000 | | Mediano plazo | **R:** Mayor número de investigaciones y alternativas de mitigación relacionadas con el manejo de los residuos sólidos.<br><br>**M:** Reducción de 60 % de los residuos en todos los municipios.<br><br>**M:** Informe anual sobre la situación actual de la generación, reducción y reciclaje de residuos por agencia, hospitales, municipios y la UPR. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.5** Establecer un programa de incentivos para estudiantes y empleados públicos que desarrollen propuestas para reducir, reusar o reciclar los residuos sólidos en su lugar de estudio o trabajo. El programa debe incluir a las escuelas públicas, agencias y hospitales públicos, municipios y la UPR. | **1.** Asignar fondos para fortalecer los programas educativos e investigaciones que generen alternativas innovadoras y nuevos modelos de negocio con el fin de solucionar la acumulación de materiales que no se están reciclando completamente en Puerto Rico (como baterías, vidrios, neumáticos, aceite usado y plástico, entre otros). | DRNA y municipios | $1 millón | Gobierno estatal y gobierno federal (Agencia de Protección Ambiental [EPA] y NOAA) | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Fondos asignados a los programas, para evidenciar nuevas mejores prácticas a fin de reducir, reusar y reciclar los residuos sólidos.<br><br>**M:** Informe anual sobre los fondos asignados para fortalecer programas educativos e investigaciones que generen alternativas innovadoras.<br><br>**M:** Reducción de 100 % de los residuos de papel, plástico de un solo uso y material vegetativo.<br><br>**M:** Recuperación de más de 60 % del material reciclable que llega a los vertederos. |

**COA A.3: Desarrollar programas de capacitación y una certificación para docentes de educador ambiental con énfasis en el cambio climático, el desarrollo sostenible y el manejo de desastres naturales.**

**Mejores prácticas:**

- *Sea Grant* adiestra por primera vez sobre la nueva guía educativa de cambio climático (Puerto Rico). https://www.coralesdelestepr.com/single-post/2019/08/08/sea-grant-adiestra-por-primera-vez-sobre-la-nueva-gu%C3%ADa-educativa-de-cambio-clim%C3%A1tico
- *Online courses for educators, National Geographic*. https://www.nationalgeographic.org/education/professional-development/courses/#Teaching-Global-Climate-Change
- Gradúan 530 docentes en cambio climático (República Dominicana). https://www.elcaribe.com.do/panorama/pais/graduan-530-docentes-en-cambio-climatico/
- Guía de apoyo docente en cambio climático (Chile). https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-apoyo-docente-en-Cambio-Climatico.pdf
- Cambio Climático: Programa de Educación y Cultura Ambiental del Estado de Jalisco (México). http://siga.jalisco.gob.mx/ea/CambioClimatico.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Fomentar una comunidad activa de docentes escolares y universitarios en continuo aprendizaje y desarrollo profesional. | **1.** Asignar en los presupuestos fondos exclusivos para capacitar y certificar a maestros de los sistemas público y privado y a profesores en áreas relacionadas con el cambio climático, el desarrollo sostenible y el manejo de desastres naturales. | UPR | $500,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (EPA) y NSF | Corto plazo | **R:** Mayor número de docentes de los sistemas público y privado y del nivel universitario capacitados y certificados.<br>**M:** Informe anual sobre los fondos asignados en el presupuesto de la UPR para capacitar y certificar a docentes. El informe debe tener métricas que evidencien un incremento porcentual anual de las capacitaciones y certificaciones dirigidas a docentes. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.2** Establecer una librería en línea en la página web del DRNA con material educativo sobre el cambio climático y el ambiente, de libre acceso para la ciudadanía. | **1.** Identificar todo el material educativo creado por el DRNA, fuentes de información, guías didácticas, módulos, infográficos y documentales, entre otros recursos que puedan organizarse por temas para facilitar la búsqueda y el acceso del público a través de un mismo portal. | DRNA | $10,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (EPA) y NSF | Corto plazo | **R:** Actualización de la página oficial del DRNA en línea con una librería accesible para todas las personas, incluyendo aquellas con diversidad funcional.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable que evidencie el material educativo sobre el cambio climático y el ambiente, el alcance y el impacto de la librería en línea. |
| **A.3.3** Crear una certificación para docentes de los niveles escolar y universitario como especialistas en educación ambiental con énfasis en el cambio climático, la sostenibilidad y el manejo de desastres naturales. | **1.** Crear una certificación de Educador Ambiental, de 60 horas contacto, con énfasis en el cambio climático, el desarrollo sostenible y el manejo de emergencias ante desastres naturales. Debe incluir al menos una visita de campo. Estas certificaciones pueden diseñarse en colaboración con organizaciones ambientales y programas académicos de otras universidades privadas. | UPR | $15,000 | | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Certificación para docentes creada.<br>**M:** Certificación de más de 70 % de la población de maestros de ciencias del DE y de escuelas privadas a mediano plazo.<br>**M:** A largo plazo, 100 % de los docentes de ciencias y otras materias de los grados k-12 certificados como educadores ambientales especializados en el cambio climático, desarrollo sostenible y manejo de desastres naturales.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable que evidencie la participación de los maestros certificados a nivel de las siete regiones del DE. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.4** Desarrollar un programa de capacitación anual para docentes que propicie mantener al día el proceso de enseñanza-aprendizaje sobre el cambio climático en la sala de clases. El programa utilizará información actualizada proveniente de la literatura, estudios e investigaciones sobre el tema. | **1.** Establecer un programa de capacitación para maestros de escuelas públicas, privadas y encargados de la educación en casa (*homeschooling*) que consista en talleres sobre el cambio climático y guías didácticas. Esto puede hacerse a través de diversas entidades, como el programa *Sea Grant*, *Global Schools Program*, *Puerto Rico Chapter of the United Nations Association of the United States of America* (UNA-USA PR), organizaciones ambientales, alianzas con el DE y la Asociación de las Escuelas Privadas de Puerto Rico. | DRNA | $30,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (EPA) y NSF | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Creación y divulgación de un programa de capacitación anual para docentes.<br>**M:** Número de capacitaciones anuales para docentes en temas que incluyan, pero no se limiten a: acidificación de los océanos; blanqueamiento de corales; manejo de residuos sólidos; erosión costera; mangles y ecosistemas terrestres y marinos; manejo de vida silvestre y biodiversidad; control de especies exóticas, y contaminación de los recursos naturales. |

**COA A.4: Crear campañas educativas sobre el cambio climático, la conservación de los recursos naturales y la planificación ciudadana ante desastres naturales.**

**Mejores prácticas:**

- ONU Cambio Climático lanza la campaña #Climattitude: ¿Cuál es tu actitud frente al cambio climático? https://unfccc.int/es/news/onu-cambio-climatico-lanza-la-campana-climattitude-cual-es-tu-actitud-frente-al-cambio-climatico
- Red española de ciudades por el clima. https://redciudadesclima.es/campaign/
- Educación climática relevante y universal: nueva campaña mundial de la Internacional de la Educación. https://www.ei-ie.org/es/item/23730:educacion-climatica-relevante-y-universal-nueva-campana-mundial-de-la-internacional-de-la-educacion
- Ministerio del Medio Ambiente lanza la campaña "Que tu huella sea positiva" para concientizar sobre el cambio climático (Chile). https://mma.gob.cl/ministerio-del-medio-ambiente-lanza-la-campana-que-tu-huella-sea-positiva-para-concientizar-sobre-el-cambio-climatico/
- III Campaña Infantil sobre el Cambio Climático (España). https://www.alicante.es/es/noticias/iii-campana-infantil-cambio-climatico
- Buenas prácticas ambientales y su vinculación con la acción climática. Estudio de caso: celebraciones y campañas ambientales en el Instituto Manuel Canelo Perdomo (Honduras), Unicef. https://www.unicef.org/honduras/media/516/file/Estudio%20de%20caso:%20celebraciones-y-campa%C3%B1as-ambientales-estudio-de-caso.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Difundir a través de los medios de comunicación y las redes sociales cuáles son los efectos del cambio climático en Puerto Rico. Promover las medidas de mitigación, adaptación y resiliencia que la ciudadanía puede adoptar.<br><br>[...] | **1.** Establecer anualmente una campaña educativa inclusiva que facilite la información a personas con diversidad funcional y a toda la ciudadanía, desde niños hasta personas de edad avanzada. Difundirla a principios de la temporada de huracanes. Cada agencia debe integrar esta campaña en su plan de trabajo y asignar fondos exclusivos para realizarla. Para maximizar el alcance a la población, las campañas deben difundirse a través de la televisión, WIPR, las redes sociales, las páginas oficiales de las agencias, la radio y letreros.<br><br>**2.** Promover a través de las campañas educativas estrategias de psicología positiva como la empatía, la esperanza, el optimismo, la perseverancia y la tolerancia hacia la adopción de medidas de adaptación, mitigación y resiliencia sobre el cambio climático en Puerto Rico. Integrar a expertos del área de la salud mental en la preparación de estas campañas, para que el mensaje se dirija de manera eficiente hacia una conciencia de armonía y respeto como sociedad vulnerable a los efectos del cambio climático.<br><br>[...] | DRNA y municipios | $350,000[8] | Gobierno estatal y gobierno federal | Corto plazo | **R:** Mayor número de campañas educativas realizadas y mayor alcance a nivel de agencias y municipios.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables que integren las campañas educativas en sus planes de trabajo y asignen fondos exclusivos para realizarlas. |

[8] El costo estimado es total para todas las acciones incluidas en los objetivos A.4.1, A.4.2 y A.4.3.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [...]<br><br>**A.4.2** Mantener en todos los medios de comunicación campañas educativas sobre el uso responsable del agua. | [...]<br><br>**3.** Orientar a la ciudadanía a través de una campaña interagencial sobre el plan de emergencia familiar ante inundaciones, lluvias torrenciales, sequías, manejo responsable del agua, terremotos, marejadas y huracanes. Hacerlo en colaboración con el Negociado para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres, el Departamento de la Vivienda, la AAA, la AEE, el Departamento de Agricultura, el DE y el Departamento de Salud. Integrar el tema de salud mental ante desastres naturales, que debe ser fundamental para el proceso de adaptación y resiliencia en cada campaña educativa. | | | | Corto plazo | **R:** Mayor número de campañas educativas realizadas y mayor alcance a nivel de agencias y municipios.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables que integren las campañas educativas en sus planes de trabajo y asignen fondos exclusivos para realizarlas. |
| **A.4.3** Desarrollar mecanismos inclusivos de comunicación con diversos sectores, incluyendo a la población de edad avanzada y a las personas con diversidad funcional (entre otras, la comunidad no vidente o con sordera). El desarrollo de estos mecanismos de comunicación debe estar a cargo de un equipo interdisciplinario de profesionales en las áreas pertinentes y utilizar un lenguaje accesible para los distintos grupos. Cada agencia del gobierno y los municipios deben establecer los mecanismos de comunicación correspondientes para cumplir con este curso de acción. | **1.** Promover información sobre cómo el cambio climático afecta al país, qué bienes y servicios se verán comprometidos, qué oportunidades de negocio se pueden desarrollar en vías de conservar los recursos naturales y qué alternativas de mitigación, adaptación y resiliencia tienen los ciudadanos, usando como referencia el Plan MARCC. | DRNA y municipios | $350,000 | Gobierno estatal y gobierno federal | Corto y mediano plazo | **R:** Mecanismos inclusivos de comunicación con diversos sectores (incluyendo a la población de edad avanzada y personas con diversidad funcional) creados.<br><br>**M:** El alcance óptimo de la divulgación de información y las campañas educativas anuales debe estar preferiblemente entre 70 y 89 % de cobertura.<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables que evidencie el alcance y el impacto de estas campañas a través de los medios de comunicación. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.4** Visibilizar y procurar el cumplimiento de la Ley para la Celebración del Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental en Puerto Rico (Ley 234-2002). | **1.** Promover el Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental en Puerto Rico a través de los medios televisivos, las redes sociales y la radio.<br>**2.** Desarrollar actividades el 1 de julio, Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental, para fomentar estilos de vida y hábitos de consumo de bajo impacto sobre el ambiente. Fomentar la modificación del comportamiento ambiental negativo. Orientar sobre cómo calcular, monitorear y minimizar nuestra huella ecológica. También, fomentar la filosofía del desarrollo sostenible, la prevención de la contaminación y degradación ambiental, y el desarrollo de comunidades sostenibles. | DRNA y municipios | $20,000 | Gobierno estatal y gobierno federal | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Participación activa de las agencias de gobierno en la celebración del Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental.<br>**M:** Participación en la celebración del Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental de 70 % o más de las agencias de gobierno estatales y federales con oficinas en Puerto Rico, entidades educativas privadas, así como grupos comunitarios y organizaciones no gubernamentales.<br>**M:** Informe anual que evidencie las estrategias utilizadas para aumentar la divulgación de la celebración de este día a través de la televisión, las redes sociales, la radio y páginas oficiales de las agencias del gobierno y municipios. |

**COA A.5: Establecer en la Universidad de Puerto Rico nuevos cursos y talleres sobre los efectos del cambio climático y medidas de mitigación, adaptación y resiliencia en sus currículos.**

**Mejores prácticas:**

- Proyecto BETA educa activamente sobre el cambio climático a estudiantes y maestros de escuela superior, UPR. https://www.upr.edu/proyecto-beta-educa-activamente-sobre-el-cambio-climatico-a-estudiantes-y-maestros-de-escuela-superior/
- Programa *Sea Grant*, UPR-RUM. https://comunidad.upr.edu/course/index.php?categoryid=9&lang=es
- Diálogo sobre política pública para adaptación al cambio climático: diagnóstico y recomendaciones, *Sea Grant* Puerto Rico. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/43247/noaa_43247_DS1.pdf
- RUM capacita maestros en metodologías de enseñanza y cambio climático. https://www.mayaguezsabeamango.com/archivos/historias-final/1848-rum-capacita-maestros-en-metodologias-de-ensenanza-y-cambio-climatico

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.1** Desarrollar cursos introductorios sobre el cambio climático que incluyan aspectos de mitigación, adaptación y resiliencia. | **1.** Establecer en el plan estratégico de la UPR la creación de nuevos cursos electivos para estudiantes que desean aprender sobre el cambio climático, el manejo de desastres naturales y educación ambiental. | UPR | $100,000[9] | NSF, gobierno estatal y gobierno federal (EPA, FEMA y NIEHS) | Corto plazo | **R:** Se espera que la UPR (en sus 11 recintos, incluyendo sus escuelas laboratorio) presente un foro anual para la comunidad sobre los temas mencionados en el objetivo A.5.2 que afectan al país.<br>**M:** Plan estratégico que incluya como meta crear nuevos cursos y programas sobre el cambio climático, el manejo de desastres naturales y la educación ambiental. |

[9] El costo estimado es total para todas las acciones incluidas en el objetivo A.5.1.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.5.1** Desarrollar cursos introductorios sobre el cambio climático que incluyan aspectos de mitigación, adaptación y resiliencia. | **2.** Diseñar y ofrecer cursos, seminarios y conferencias sobre modelos de negocio, emprendimiento y empresarismo con enfoque ambiental que atiendan los temas energéticos, del recurso agua, la agricultura sostenible, transportación, el turismo y el manejo de residuos, entre otros. | UPR | $100,000 | NSF, gobierno estatal y gobierno federal (EPA, FEMA y NIEHS) | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Diseño de nuevos programas de bachillerato, maestría y doctorado de la UPR enfocados en las Ciencias Ambientales, Planificación e Ingeniería con especialidades en Cambio Climático, Sostenibilidad, Diseño de Materiales Ecológicos, Avalúo de Riesgos y Desastres Naturales, entre otros.<br><br>**M:** Informe anual sobre cursos y programas de nueva creación diseñados e impartidos en los recintos. |
| **A.5.2** Establecer foros anuales para la comunidad universitaria sobre el cambio climático, los ODS de la ONU y la planificación ciudadana ante desastres naturales. | **1.** Fomentar en y fuera de la comunidad universitaria el diálogo y el conocimiento sobre los efectos del cambio climático en Puerto Rico, el perfil ambiental del país y las medidas de mitigación, adaptación y resiliencia. Desarrollar estas actividades al comienzo del semestre académico. | | $5,000 | | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Mayor conocimiento en la comunidad universitaria sobre los efectos del cambio climático en Puerto Rico, mediante los foros anuales.<br><br>**M:** Se espera alcanzar a más de 70 % del estudiantado de primer o segundo año a través de los cursos electivos y foros.<br><br>**M:** Informe anual sobre las actividades y foros anuales que evidencie el alcance e impacto en los participantes. |

## COA A.6: Establecer un programa de incentivos para escuelas, iglesias, universidades y negocios ecológicos.[10]

**Mejores prácticas:**

- Escuela Verde: Certificación Ambiental de Escuelas - Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, Gobierno Federal de México. http://cambioclimatico.sev.gob.mx/assets/docs/Guia-y-anexo-EscuelaVerde.pdf
- La certificación de edificios verdes es cada vez más accesible en América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo. https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/la-certificacion-de-edificios-verdes-es-cada-vez-mas-accesible-en-america-latina-y-el-caribe/
- *Green Schools Alliance*. https://www.greenschoolsalliance.org/?gclid=EAIaIQobChMItayjvbHd_wIVivPjBx1ubgNUEAAYASAAEgJkVvD_BwE
- R. Vidal Rojas (2015). "Adaptación e invención sostenibles en el diseño del templo evangélico chileno". *Arquitectura y Urbanismo, 36*(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000200006&lng=es&tlng=es

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.6.1** Incentivar a negocios, escuelas, iglesias y universidades a utilizar responsablemente los recursos del medioambiente. El incentivo debe procurar la garantía de cambios permanentes en las acciones humanas para reducir el impacto ambiental. | **1.** Diseñar un programa de incentivos ambientales para escuelas, universidades, hospitales, iglesias y negocios que opten por realizar cambios permanentes con el objetivo de reducir su impacto en el medioambiente. Esto incluye instalar placas solares; maximizar el recurso agua; reducir los residuos sólidos y tener un programa activo de reciclaje; reducir el uso de plásticos, y cuidar del ambiente.<br><br>Colaboradores potenciales: Compañía de Turismo y DDEC. | DRNA | $ 1 millón | Gobierno estatal, gobierno federal y *Puerto Rico Open for Green Business* | Corto plazo | **R:** Creación de programas de incentivos ambientales.<br><br>**M:** Aumentar a más de 50 el número de escuelas ecológicas y a más de cuatro las universidades. (Hacia marzo de 2023 eran 38 escuelas y un centro universitario.)<br><br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre los programas de incentivos ambientales y las orientaciones realizadas acerca del programa. |

[10] Este es un tema transversal que incide en el sector infraestructuras (sección 7.2). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA o estrategias incluidos en el sector mencionado, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.6.2** Desarrollar un modelo de negocio en el DRNA para ofrecer al sector privado capacitación sobre el cambio climático y educación ambiental. | **1.** Crear un equipo de profesionales del DRNA que pueda ofrecer anualmente diversos adiestramientos y cursos de desarrollo profesional para el sector privado. Los fondos recibidos por adiestramientos y cursos se destinarán a realizar estudios técnicos e investigativos que permitan actualizar constantemente la información brindada a la población y conocer el impacto puntual de las acciones del Plan MARCC. | DRNA | $10,000 | Gobierno estatal, gobierno federal y *Puerto Rico Open for Green Business.* | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Modelo de negocio desarrollado y equipo establecido.<br>**M:** Mayor número de capacitaciones y adiestramientos ofrecidos al sector comercial, a partir de la aprobación del plan.<br>**M:** Informe de la entidad responsable sobre los fondos obtenidos anualmente para estudios técnicos e investigación. |
| **A.6.3** Establecer un programa de certificación de cumplimiento ambiental para escuelas, universidades, hospitales, iglesias y empresas o negocios ecológicos. | **1.** Diseñar una certificación de cumplimiento ambiental que permita dar seguimiento a las prácticas y medidas correctivas de aquellas entidades que reciban incentivos para educar y reducir el impacto ambiental. Esto debe hacerse a través de la Compañía de Turismo y el DDEC en coordinación con el DRNA.<br>Colaboradores potenciales: Compañía de Turismo y DDEC. | DRNA | $10,000 | | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Certificación creada y programa establecido y en operación.<br>**M:** Informe anual de las entidades responsables sobre el número de instituciones, centros y lugares públicos y privados que reciben la certificación de cumplimiento ambiental.<br>**M:** Aumento de 100 % en el cumplimiento de las escuelas del DE y los recintos de la UPR certificados como ecológicos de acuerdo con los criterios establecidos. |

**COA A.7: Crear política pública para que los empleados del sector público reciban 20 horas de capacitación profesional anual sobre educación ambiental que les brinde la información necesaria sobre los efectos del cambio climático en Puerto Rico, la conservación de los recursos naturales y medidas de desarrollo sostenible.**

**Mejores prácticas:**

- Guía para trabajar la Responsabilidad Social y Ambiental (GRSA), España. https://oa.upm.es/35542/1/Guia_Responsabilidad_Social_y_Ambiental-V2-1.pdf
- Código de Ética - Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/11/Codigo-etica-MMA.pdf
- Informe ambiental, social y de gobierno corporativo (ASG) 2020, Scotiabank. https://www.scotiabank.com/content/dam/scotiabank/corporate/Documents/Scotiabank_Informe_ASG_2020_Final.pdf
- L.C. Ovalles Pabón *et al.,* (2018). "Contribución de la ética ambiental y empresarial a las organizaciones". *Mundo Fesc*, *15*(1) (España). https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6638702.pdf

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.7.1** Establecer iniciativas de capacitación de 20 horas de educación ambiental que incluya el cambio climático, medidas de adaptación, mitigación y resiliencia a sus efectos, la conservación de los recursos naturales con énfasis en el buen uso del recurso agua, los ODS de la ONU, el manejo de emergencias, la responsabilidad social y la justicia climática. | **1.** Diseñar y llevar a cabo las iniciativas educativas basadas en la ética, los valores y el desarrollo integral de cada persona con su medioambiente. | OEG | $100,000[11] | Gobierno estatal | Mediano plazo | **R:** Horas de capacitación establecidas con diseño de iniciativas educativas creado. Mayor conocimiento del personal capacitado en los temas tratados.<br><br>**M:** Capacitación de 70 % o más de los empleados del gobierno (156,415 - total de empleados entre puestos de carrera, confianza y otros, hacia marzo de 2023).<br><br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre las iniciativas educativas desarrolladas, basadas en la ética, los valores y el desarrollo integral, y enfocadas en el medioambiente. |

[11] El costo estimado es total para todas las acciones establecidas en el COA.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.7.2** Integrar en la misión de la Oficina de Ética Gubernamental (OEG) —y en sus iniciativas en materia de ética, valores y desarrollo social— la parte de ética medioambiental como proceso transdisciplinario de las interacciones del ser humano con el medioambiente que afectan el bienestar y la calidad de vida de todos. | **1.** Desarrollar actividades educativas prácticas en el Centro para el Desarrollo del Pensamiento Ético con el fin de integrar aspectos de la ética medioambiental que reflexiona sobre los fundamentos de los deberes y responsabilidades del ser humano con la naturaleza, los seres vivos y las generaciones futuras. | OEG | $100,000 | Gobierno estatal | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Número de actividades prácticas con enfoque socioambiental accesibles para los empleados. Cumplimiento de 100 % de los empleados del gobierno con las 20 horas de capacitación en ética medioambiental.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre las actividades educativas prácticas diseñadas en el Centro para el Desarrollo del Pensamiento Ético, con enfoque socioambiental. |

## B. Aumentar la información y el conocimiento sobre los impactos de un clima cambiante sobre los peces, la vida silvestre y las plantas.

### COA B.1: Promover el aprendizaje continuo en todos los sectores sobre los efectos del cambio climático en la vida marina y terrestre.[12]

**Mejores prácticas:**

- Programa Ciudadano Científico, para la Naturaleza, subvencionado por la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF), Puerto Rico. https://www.paralanaturaleza.org/ciudadano-cientifico-2/
- Programa de Concienciación Forestal, Corporación de Manejo Forestal Sustentable (Ecuador). https://comafors.org/programas-y-proyectos/concienciacion-forestal
- Mural del Clima: talleres de capacitación para concienciar sobre el cambio climático de manera lúdica (Chile). https://www.ucsc.cl/noticias/mural-del-clima-talleres-capacitaran-para-concientizar-sobre-el-cambio-climatico-de-manera-ludica/
- *The Wild Center's Youth Climate Program* (EE. UU.). https://www.wildcenter.org/our-work/youth-climate-program/?gad=1&gclid=EAIaIQobChMI_d-wx87d_wIVBPvjBx05swO0EAMYAiAAEgIEXfD_BwE
- Actividades de educación ambiental – Secretaría de Ambiente, Bogotá, Colombia. https://acortar.link/1xlyRi

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Establecer programas de talleres públicos para pescadores, comercios, restaurantes y público en general sobre temas relacionados con el cambio climático. [...] | **1.** Asignar fondos para estudios técnicos e investigativos sobre cómo mejorar el uso del agua a nivel residencial, comercial e industrial de acuerdo con las necesidades de consumo y la disponibilidad del recurso a nivel local.<br>[...] | DRNA | $1 millón[13] | Gobierno estatal, gobierno federal (FEMA, EPA) | Corto plazo | **R:** Actualizar todas las cuentas oficiales en las redes sociales, las páginas web, las campañas educativas y el material didáctico de las agencias con información sobre la importancia de reforestar y de conservar el recurso agua.<br>[...] |

[12] Este es un tema transversal que incide en los sectores agua (sección 7.7), ecosistemas marinos y zonas costeras (sección 7.8) y forestación y ecosistemas terrestres (sección 7.9). Aunque el curso de acción se asemeja a otros COA o estrategias incluidas en los sectores mencionados, el alcance de cada uno se diferencia de acuerdo con los objetivos, COA y las respectivas guías de la Ley 33-2019 para cada sector.

[13] El costo estimado es total para todas las acciones establecidas en el COA.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.1** Establecer programas de talleres públicos para pescadores, comercios, restaurantes y público en general sobre temas relacionados con el cambio climático. Abordar, entre otros temas, el buen uso y conservación del agua, la contaminación de los cuerpos de agua y su efecto en la vida marina y resultados de investigaciones en torno a los ecosistemas terrestres y marinos. Incluir como tema el impacto económico de los efectos del cambio climático sobre la pesca, la distribución y el consumo de organismos marinos, así como los instrumentos económicos con incidencia directa o indirecta sobre el cambio climático. | [...]<br><br>**2.** Realizar estudios sobre la presencia de los microplásticos, metales pesados, PFAS[14] y contaminantes emergentes en los organismos marinos. Estos estudios permiten educar sobre la importancia del cuidado de los cuerpos de agua y el efecto de los contaminantes en la salud humana y la economía local.<br><br>Colaboradores potenciales: Departamento de Agricultura, AAA, Departamento de Salud, DE. | DRNA | $1 millón | Gobierno estatal, gobierno federal (FEMA, EPA) | Corto plazo | [...]<br><br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre la creación de programas de talleres públicos para pescadores, comercios, restaurantes y público en general. El informe incluye los fondos asignados para estudios técnicos e investigativos sobre el mejor uso del agua. |

[14] PFAS son las siglas de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas en inglés. Véase más en: https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pfas

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.1.2** Establecer programas educativos de reforestación entre las agencias de gobierno, escuelas, municipios y la UPR. | **1.** Desarrollar el programa anual Reforestación con conciencia por parte del DRNA, que informe a las agencias gubernamentales, escuelas, municipios, comunidades y a la UPR sobre:<br>**a.** Las especies de árboles recomendadas por su aclimatación y adaptación al cambio climático para Puerto Rico, de acuerdo con la literatura. Esto permitirá maximizar las medidas de mitigación a nivel de reforestación asociadas con la recuperación de los daños ocasionados por el paso del huracán María.<br>**b.** La importancia de los árboles en la captura de los gases de efecto invernadero; la disminución de la contaminación atmosférica y de las altas temperaturas que aumentan el gasto energético, así como las ventajas de las especies de árboles que requieren poca cantidad de agua y toleran alta exposición al sol.<br>**c.** La importancia de los manglares en la descontaminación de los ecosistemas y la purificación del agua, y como hábitats de especies y amortiguadores de eventos atmosféricos. | DRNA | $1 millón | Gobierno estatal, gobierno federal (FEMA, EPA) | Mediano plazo | **R:** Programas educativos de reforestación y conservación del recurso agua establecidos en las agencias gubernamentales, escuelas, municipios y la UPR.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre la creación de programas de reforestación y de conservación del recurso agua. |

**COA B.2: Fomentar alianzas entre el DRNA, el Negociado para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres, municipios, el sector público y el sector privado.**

**Mejores prácticas:**

- *Community Resilience, Institute for Sustainable Communities* (EE. UU.). https://sustain.org/community-resilience/
- Alianza Médica contra el Cambio Climático (AMCC), España. https://www.cgcom.es/sites/main/files/files/2022-05/alianza_medica_amcc.pdf
- Alianzas para la acción climática, *World Wildlife Fund*. https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/alianzas-para-la-accion-climatica
- Alianza Mexicana-Alemana de Cambio Climático. https://iki-alliance.mx/portafolio/mexican-german-climate-change-alliance/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **B.2.1** Promover acuerdos colaborativos y alianzas entre diversos sectores que fomenten el interés y la capacitación de los empleados de empresas, negocios y agencias en la educación ambiental y la conservación de los recursos naturales, con énfasis en el uso responsable del recurso agua. | **1.** Desarrollar capacitación que permita a las empresas y a las agencias gubernamentales:<br>**a.** mejorar sus planes y protocolos de emergencias,<br>**b.** tener un personal preparado para enfrentar los posibles daños causados por huracanes, terremotos y fenómenos atmosféricos, y<br>**c.** establecer con los empleados programas de manejo del recurso agua, energía y residuos sólidos que lleven a buenas prácticas de conservación y ahorro en los gastos operacionales de la empresa o la agencia.<br>Colaboradores potenciales: NMEAD y DDEC. | DRNA y municipios | $100,000 | Gobierno estatal | Corto plazo | **R:** Cada agencia del gobierno con sus planes de emergencia al día realiza un mínimo de dos simulacros al año.<br>**M:** Informe de la entidad responsable sobre el número de simulacros realizados anualmente, y el alcance e impacto en los participantes. |
| | | | | | Mediano y largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Los empleados de los sectores comercial y público reciben al menos dos capacitaciones al año.<br>**M:** Informe anual de cada agencia al CEACC sobre los logros alcanzados con las capacitaciones realizadas. |

## C. Promover mayor educación comunitaria sobre el valor del hábitat para las especies terrestres y marinas, particularmente aquellas vulnerables o en peligro de extinción.

**COA C.1: Establecer un programa comunitario de impacto por regiones que incluya la capacitación de líderes comunitarios en gestión ambiental relacionada con el cambio climático y sus efectos en Puerto Rico, con orientación a medidas de mitigación, adaptación y resiliencia.**

**Mejores prácticas:**

- Capacitación-Programa gratuito de formación en liderazgo de la salud por el clima, Salud sin Daño. https://noharm-uscanada.org/node/6086
- Programa de Capacitación de Líderes(as) Comunitarios(as) en Cambio Climático, Perú. https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/capacitacion_lideres_cambio_climatico.pdf
- Programa de capacitación Líderes Ambientales del Instituto Jane Goodall, Argentina. https://www.iucn.org/es/articulo/202305/programa-lideres-ambientales
- Programa de fortalecimiento de capacidades para líderes de comunidades de primera línea de California. https://sgc.ca.gov/technical-assistance/pace/esp/about.html
- Capacitan a comunitarios en técnicas metodológicas y en innovación tecnológica ante efectos del cambio climático, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. https://www.iica.int/es/prensa/noticias/capacitan-comunitarios-en-tecnicas-metodologicas-y-en-innovacion-tecnologicas-ante

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.1.1** Establecer un programa de capacitación del gestor ambiental comunitario en las siete regiones de Puerto Rico, con 30 horas contacto. Este programa deberá ser cónsono con las disposiciones de la Ley 85-2018, según enmendada, conocida como Ley de Reforma Educativa de Puerto Rico, que reconoce la importancia del tercer sector en nuestra sociedad y en el quehacer educativo. | **1.** Fomentar dentro del plan escolar actividades para la comunidad bajo el Programa de Integración Comunitaria, adscrito a la Oficina del Secretario del DE. El programa tiene como objetivo promover el trabajo voluntario, los acuerdos colaborativos y la participación de la comunidad en actividades curriculares y extracurriculares.<br>**2.** Desarrollar alianzas entre el DE, el DRNA y organizaciones sin fines de lucro con el propósito de extender el conocimiento sobre el cambio climático a las comunidades aledañas a las escuelas. (Según la Fundación Ángel Ramos, 13,863 organizaciones sin fines de lucro estaban activas en Puerto Rico para 2022.)<br>Colaboradores potenciales: DE y NMEAD. | DRNA y municipios | $1,500,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (FEMA, EPA) | Corto y mediano plazo<br>Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Programa de integración comunitaria establecido y alianzas desarrolladas y en acción.<br>**M:** Alcanzar a las siete regiones establecidas por el DE y certificar a más de 70 % de los líderes comunitarios en las diferentes regiones.<br>**R:** 100 % de los líderes comunitarios, de organizaciones de base comunitaria o ambiental certificados como gestores ambientales.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre la creación, operación y alcance del programa de capacitación del Gestor Ambiental Comunitario con 30 horas contacto en las siete regiones de Puerto Rico. |

**COA C.2: Desarrollar un programa de educación no formal sobre cambio climático, conservación de recursos naturales y especies vulnerables.**

**Mejores prácticas:**

- Museo de Ciencias de Puerto Rico. https://ecoexploratorio.org/ecoex-plaza-las-americas/
- *The Climate Museum: The first museum in the U.S. dedicated to the climate crisis*. https://climatemuseum.org/?gclid=EAIaIQobChMI_d-wx87d_wIVBPvjBx05swO0EAMYASAAEgJa8_D_BwE
- Conoce y valora el cambio climático: Propuestas para trabajar en grupo (España). https://app.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prev-ma/cursos/guia-conoce-y-valora-el-cambio-climatico.pdf
- Cultura, cambio climático y desarrollo sostenible: *Briefing* - Secretariado de la Comisión de Cultura de la asociación mundial Ciudades y Gobiernos Locales Unidos. https://www.agenda21culture.net/sites/default/files/files/documents/es/culture-climatechange-sustainability_spa.pdf
- Cambiarte: Arte por el cambio climático (Colombia). https://fondoaccion.org/2021/04/14/arte-por-el-cambio-climatico/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.1** Desarrollar actividades de educación no formal para la ciudadanía en torno al cambio climático y la conservación de los recursos naturales, en especial sobre el uso responsable del agua, especies en peligro de extinción y vulnerables, y la planificación familiar ante desastres naturales. | **1.** Desarrollar actividades de educación no formal para la ciudadanía (exhibiciones, museos, conciertos, obras de teatro, festivales y fiestas de pueblo, entre otros) sobre el cambio climático, la conservación de los recursos naturales, erosión costera, especies en peligro de extinción y vulnerables, y la planificación familiar ante desastres naturales. | ICP y municipios | $1,500,000[15] | Gobierno estatal y gobierno federal (FEMA y EPA) | Corto y mediano plazo | **R:** Cada municipio, el ICP y ADFAN integran anualmente en su plan de trabajo actividades sobre el cambio climático y la conservación de los recursos naturales.<br>**M:** Informe anual de la entidad responsable sobre el desarrollo de actividades de educación no formal en torno al cambio climático y la conservación de los recursos naturales.<br>[...] |

[15] El costo estimado es total para las acciones establecidas en los objetivos C.2.1, C.2.2 y C.2.3.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.2** Diseñar talleres y actividades integrando el factor demográfico del país, en función de adaptar el contenido sobre el cambio climático a las personas de edad avanzada. | **1.** Realizar actividades, talleres y orientaciones sobre cambio climático, manejo de emergencias ante desastres naturales y estrategias de respuesta ante crisis ambientales para personas de edad avanzada, a través de la Administración de Servicios de Edad Avanzada y Adultos con Impedimentos. Estas orientaciones, actividades y talleres deberán ofrecerse a través de las oficinas regionales y locales del Departamento de la Familia y de proyectos comunales. Se deberá atender a la siguiente población:<br>**a.** personas de edad avanzada (60 años o más),<br>**b.** adultos con impedimentos físicos (18 años o más) . | Administración de Servicios de Edad Avanzada y Adultos con Impedimentos | $1,500,000 | Gobierno estatal y gobierno federal (FEMA y EPA) | Corto y mediano plazo | [...]<br>**M:** Informe anual de las actividades y talleres sobre el cambio climático, manejo de emergencias ante desastres naturales y estrategias de respuesta ante crisis ambientales en los centros de adultos mayores, actividades realizadas por el Departamento de la Familia y proyectos comunales para personas de edad avanzada o con diversidad funcional. |
| **C.2.3** Integrar en el plan estratégico del Instituto de Cultura Puertorriqueña (ICP) proyectos que fomenten la educación sobre el cambio climático y la conservación de los recursos naturales. Estos proyectos utilizarán las artes y la música como promotores de una cultura consciente de proteger el medioambiente. | **1.** Desarrollar una política institucional que integre en todas las actividades culturales del ICP el tema del cambio climático y las medidas de mitigación, adaptación y resiliencia, la conservación de los recursos naturales, el uso responsable del agua y los ODS. | ICP | | | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** 100 % de las actividades del ICP integra los temas del cambio climático y del ambiente.<br>**M:** El plan estratégico y el informe anual evidencian los proyectos que fomentan la educación sobre el cambio climático y la conservación de los recursos naturales. |
| **C.2.4** Crear el programa permanente: Acción Ciudadana ante el Cambio Climático. | **1.** Desarrollar un programa permanente de acción ciudadana ante el cambio climático, bajo la secretaría auxiliar de Educación y Relaciones con la Comunidad del DRNA. Este programa tendrá el propósito de coordinar todas las actividades de orientación ciudadana sobre el cambio climático asignadas al DRNA de acuerdo con esta sección del plan.<br>[...] | DRNA | $2,000,000 | Gobierno estatal y federal (EPA, NOAA, NSF) | | **R:** Programa permanente Acción ciudadana ante el cambio climático creado en el DRNA con una divulgación intensiva de información cognitiva, actitudinal y conductual a través de la televisión, la radio, vallas publicitarias y redes sociales. [...] |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.4** Crear el programa permanente: Acción Ciudadana ante el Cambio Climático. | [...]<br>**2.** Todo el material de este programa debe incluir información cognitiva, actitudinal y conductual para provocar un cambio en la forma de pensar y la percepción de los ciudadanos acerca del cambio climático. Esto incluye:<br>**a.** Diseñar contenido sobre el cambio climático que atienda los temas del plan incluidos en la **Guía para la revisión curricular e integración de temas desde K-12 para escuelas públicas y privadas**.<br>**b.** La información **cognitiva** que se incluya debe prepararse atendiendo aspectos sobre los mitos y realidades acerca del cambio climático en el mundo y Puerto Rico. La información cognitiva se refiere a las creencias y al conocimiento que poseemos acerca de algo.<br>**c.** La información **afectiva** que se incluya debe integrar testimonios de ciudadanos que se están viendo afectados por el cambio climático en Puerto Rico, historias de éxito y resiliencia en tiempos de crisis ambiental, iniciativas comunitarias y de ONG que promuevan empatía y sentido de pertenencia de nuestros recursos naturales.<br>**d.** La información **conductual** que se incluya debe aumentar en las personas la sensación de control y de que son capaces de influir sobre su entorno. El mensaje debe llegar con esperanzas para provocar una actitud positiva ante el cambio climático.<br>[...] | DRNA | $2,000,000 | Gobierno estatal y federal (EPA, NOAA, NSF) | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Programa permanente Acción Ciudadana ante el Cambio Climático creado en el DRNA con una divulgación intensiva de información cognitiva, actitudinal y conductual a través de la televisión, la radio, vallas publicitarias y redes sociales.<br>**M:** Informe anual del DRNA sobre el progreso de la operación del programa, agencias que divulgan el material informativo y el alcance de la información en los ciudadanos. El contenido se evaluará cada año para posibles modificaciones en consulta con el CEACC. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **C.2.4** Crear el programa permanente: Acción Ciudadana ante el cambio Climático. | [...]<br>**e.** La información que se prepare debe estar dirigida a personas de todas las edades, en especial a las personas mayores que puedan actuar como puente intergeneracional de escenarios pasados y futuros, mediante el intercambio con otros grupos de edad y una visión conjunta de construir el presente y el futuro de comunidades sostenibles. La información debe fomentar que los ciudadanos se conviertan en educadores informales con gran capacidad para influir en sus ámbitos más directos y cercanos (familia, vecindario, trabajos, etcétera).<br>**f.** El DRNA creará este programa, bajo la secretaría auxiliar de Educación y Relaciones con la Comunidad de la agencia. Para su mayor alcance, debe preparar mensualmente información sobre los efectos del cambio climático en el país, para transmitirla por los canales principales de televisión, radio, vallas publicitarias (*billboards*) y redes sociales.<br>**g.** La información preparada para la divulgación de contenido cognitivo, actitudinal y conductual debe difundirse en cada sala de espera de servicio al cliente de todas las agencias de gobierno. Se espera que cada agencia presente material visual y videos preparados por este programa mientras los ciudadanos esperan por recibir los servicios.<br>**h.** Todo lo que este programa prepare debe incluir información del cambio climático que sea de pertinencia, posibles escenarios, soluciones a corto y largo plazo y alivio ante la crisis ambiental enfocado en la reducción de gastos y en incentivos. | DRNA | $2,000,000 | Gobierno estatal y federal (EPA, NOAA, NSF) | Largo plazo (6 a 10 años) | **R:** Programa permanente Acción Ciudadana ante el Cambio Climático creado en el DRNA con una divulgación intensiva de información cognitiva, actitudinal y conductual a través de la televisión, la radio, vallas publicitarias y redes sociales.<br>**M:** Informe anual del DRNA sobre el progreso de la operación del programa, agencias que divulgan el material informativo y el alcance de la información en los ciudadanos. El contenido se evaluará cada año para posibles modificaciones en consulta con el CEACC. |

**Tabla 7.12.** Cursos de acción (COA) para la mitigación, adaptación y resiliencia ante el cambio climático para el sector de **justicia climática**.

## A. Promover la justicia climática a través de todo Puerto Rico, enfatizando la protección de la población más vulnerable a los efectos del cambio climático.

### COA A.1: Fortalecer las herramientas de política pública desde el enfoque de justicia climática.

**Mejores prácticas:**

Órdenes ejecutivas del presidente de Estados Unidos:

- *Executive Order 13990: Protecting Public Health and the Environment and Restoring Science To Tackle the Climate Crisis*. https://www.federalregister.gov/documents/2021/01/25/2021-01765/protecting-public-health-and-the-environment-and-restoring-science-to-tackle-the-climate-crisis
- *Executive Order 14008: Tackling the climate crisis at home and abroad.* https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/01/2021-02177/tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad
- *Executive Order 14057: Catalyzing Clean Energy Industries and Jobs Through Federal Sustainability*. https://www.federalregister.gov/documents/2021/12/13/2021-27114/catalyzing-clean-energy-industries-and-jobs-through-federal-sustainability

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable[1] | Costo estimado[2] | Fuente potencial de financiamiento[3] | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Integrar un enfoque de justicia climática a los planes, guías, manuales y reglamentos, entre otras herramientas de política pública comunitarias, municipales, estatales y del gobierno central nuevas o actuales. | **1.** Crear una orden ejecutiva que establezca la incorporación de la justicia climática en todas las herramientas de política pública nuevas o actuales. Exigir este enfoque en especial a los proyectos futuros y el manejo de los dineros disponibles para mejorar la infraestructura del país.<br><br>Colaborador potencial: CEACC. | Oficina del Gobernador | Costos operacionales de nómina para su desarrollo<br><br>Implantación, $350,000 | Gobierno de Puerto Rico (Asamblea Legislativa de Puerto Rico) | Corto plazo | **R:** Orden ejecutiva establecida.<br><br>**M:** Porcentaje de implantación de la orden ejecutiva o resolución.<br><br>[(Número de herramientas de política pública vigentes con la incorporación de justicia climática / Número de herramientas de política pública vigentes) × 100] superior o igual a 50 %, a corto plazo; a 80 %, a mediano plazo, y a 100 %, a largo plazo. |

[1] En algunas estrategias se incluyen colaboradores potenciales como referencias sujetas a la evaluación de la entidad responsable sin limitarse a estos. A tono con la encomienda establecida en la Ley 33-2019, según aplique, la entidad responsable deberá identificar los actores clave (a escala municipal comunitaria, como entidades sin fines de lucro, entre otros) y promover la participación de sus colaboradores en la implantación de las estrategias.

[2] La entidad responsable de ejecutar será la que determinará con exactitud los costos de cada objetivo y las estrategias en las tablas trazadas. La entidad responsable proveerá un costo estimado de las estrategias cuando no se determine en este plan, considerando experiencias previas en o fuera de Puerto Rico, en la fase previa de implantación de la estrategia.

[3] En cada estrategia se ha identificado una fuente potencial de financiamiento que no siempre es de fondos propios o fondos operacionales de la entidad responsable. Esto no excluye que cada entidad responsable separe fondos para cumplir con este P-MARCC. Por lo tanto, a partir de la aprobación de este Plan, es responsabilidad de cada entidad que en su plan presupuestario anual separen fondos para la implantación de las estrategias, incorporando las medidas fiscales para cumplir con el P-MARCC y la Ley 33-2019.

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado[1] | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.1.1** Integrar un enfoque de justicia climática a los planes, guías, manuales y reglamentos, entre otras herramientas de política pública comunitarias, municipales, estatales y del gobierno central nuevas o actuales. | **2.** Incluir en el reglamento exigido por la Ley 33-2019 que se establezcan las métricas para evaluar la implantación de la justicia climática en cualquier agencia gubernamental, entidad gubernamental y corporación pública, y las multas en caso de incumplimiento. | Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa | Costos operacionales de nómina | Fondo de Cambio Climático | Corto plazo | **R:** Reglamento elaborado con una sección de justicia climática, donde se establezcan los requerimientos para su cumplimiento, métricas y multas.<br>**M:** Número de requerimientos de cumplimientos sobre justicia climática realizados por reglamento y atendidos. |

**COA A.2: Aumentar la información y el conocimiento sobre la implantación de justicia climática en Puerto Rico.**

**Mejores prácticas:**

- *California's 4th Climate Change Assessment - Climate Justice Report* (2018): Una mirada al concepto de justicia climática y cómo se refleja en el estado de California (informe). https://resourceslegacyfund.org/wp-content/uploads/2018/09/Climate-Justice-Report-4CCCA-v.4-00455673xA1C15.pdf
- Webinar Justicia Climática en Latinoamérica y el Caribe. 30 de marzo de 2022. https://m.youtube.com/watch?v=1uB9IQaOLkU

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.2.1** Crear un modelo educativo integrado en pedagogía de justicia climática. | **1.** Desarrollar una investigación de los aspectos aspiracionales de la sociedad puertorriqueña (estudios de necesidad). Es decir, cuáles son sus patrones de consumo, qué desean para su bienestar y qué están dispuestos a cambiar para tener ese bienestar; y sus valores y aspiraciones de lo que es una vida digna, placentera y no basada en una economía de mercado. En este sentido, el estudio debe revisar:<br>**a.** los estándares actuales de percepción de bienestar;<br>**b.** los elementos mínimos y límites permitidos que la población estaría dispuesta a aceptar según la percepción de bienestar, y<br>**c.** si reconocen la ecodependencia.<br>Colaboradores potenciales: DE y DDEC. | DRNA | $50,000 | Subvenciones NOAA-OAR-CPO-2023-2007539 https://www.grants.gov/search-results-detail/343880 | Corto a mediano plazo | **R:** Investigación desarrollada.<br>**M:** Identificación de los mínimos y límites permitidos por la población sobre bienestar y derechos humanos con enfoque de justicia climática.<br>[(Número de mínimos y límites cumplidos en la población que promuevan la justicia climática / Número de mínimos y límites permitidos en la población que promueven la justicia climática) × 100]: 50 %, a corto plazo; 80 %, a mediano plazo; 100 %, a largo plazo. |
| | **2.** Realizar una reforma al alcance de la responsabilidad universitaria y del Departamento de Educación en un contexto de justicia climática que promueva la integración entre facultades, comunidad, ONG y escuelas, en investigaciones que puedan incidir en la justicia climática. Por ejemplo: prácticas y pasantías que sean motor de transformación en justicia climática.<br>Colaboradores potenciales: universidades y ONG receptoras de las pasantías. | DE | $250,000 a $350,000 | Fondos operacionales de la agencia | Corto a mediano plazo | **R:** Reforma implantada.<br>**M:** [(Número de entidades educativas con la reforma / Número de entidades totales) × 100] superior o igual a 80 %, a corto plazo, y 100 %, a mediano plazo. |

## COA A.3: Fomentar el desarrollo de iniciativas y análisis que prioricen la equidad socioeconómica.

**Mejores prácticas:**

- *Climate Adaptation Partnerships (CAP) / Regional Integrated Sciences and Assessments (RISA).* https://cpo.noaa.gov/cap-risa-teams-in-new-regions-u-s-caribbean/
- Instituto de Innovación en Sostenibilidad para la Capacitación, Aplicación e Investigación en Ciencias Agroambientales (IINSTAR-AS) en la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, con financiamiento de USDA-NIFA, enfocado en formar profesionales en ciencias agroambientales y fomentar la justicia, equidad, diversidad e inclusión. https://www.uprrp.edu/2023/06/se-funda-el-instituto-de-innovacion-en-sostenibilidad-para-la-capacitacion-aplicacion-e-investigacion-en-ciencias-agroambientales-iinstar-as-en-el-recinto-con-fondos-de-usda/
- *SLIDES-PR.* https://sites.google.com/uprm.edu/slidespr/
- *Justice40.* https://www.whitehouse.gov/es/justicia-ambiental/justice40/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.1** Desarrollar colaboración que ayude a integrar el análisis del cambio climático en las decisiones de política pública. | **1.** Desarrollar una colaboración estrecha con instituciones científicas y académicas (ej., UPR) para integrar los últimos hallazgos en el campo del cambio climático en las decisiones de política pública. Involucrar a los científicos en la planificación y ejecución de medidas de adaptación y mitigación. | Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa | Costos operacionales de nómina | Fondos operacionales de cada agencia | Mediano plazo | **R:** Colaboración establecida.<br>**M:** Número de políticas públicas que integran la ciencia del cambio climático en su formulación y ejecución. |

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.3.2** Abordar la equidad socioeconómica en las estrategias de justicia climática. | **1.** Revisar todas las políticas y programas climáticos existentes para identificar y atender las disparidades socioeconómicas y demográficas. Esto debe incluir un análisis del impacto en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas para todas las nuevas políticas y programas climáticos. | Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Asamblea Legislativa | Indeterminable | Fondos operacionales de cada agencia | Corto y mediano plazo | **R:** Políticas y programas climáticos revisados.<br>**M:** Porcentaje de políticas y programas climáticos que han sido sometidos a un análisis sobre su impacto en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. |
| | **2.** Asignar el 45 % de los fondos dedicados a las iniciativas de cambio climático para apoyar directamente a las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas.<br>**a.** De los fondos disponibles para proteger del aumento del nivel del mar y de las marejadas ciclónicas, se asignará al menos el 45 % a la protección de comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas.<br>**b.** De los fondos disponibles para la aclimatación de hogares, se asignará al menos el 45 % a hogares de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas.<br>**c.** De los fondos disponibles para energía renovable en hogares, se asignará al menos el 45 % a hogares de personas desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. | | | | | **R:** 45 % de los fondos asignados.<br>**M:** Porcentaje anual igual o superior a 45 % de los fondos dedicados a las iniciativas de cambio climático se asigna al apoyo directo a las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas. |

## COA A.4: Desarrollar planes de evacuación y preparación para desastres climáticos.

**Mejores prácticas:**

- Órdenes ejecutivas del presidente de Estados Unidos:
  - *Executive Order 13990: Protecting Public Health and the Environment and Restoring Science To Tackle the Climate Crisis*. https://www.federalregister.gov/documents/2021/01/25/2021-01765/protecting-public-health-and-the-environment-and-restoring-science-to-tackle-the-climate-crisis
  - *Executive Order 14008: Tackling the climate crisis at home and abroad*. https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/01/2021-02177/tackling-the-climate-crisis-at-home-and-abroad
  - *Executive Order 14057: Catalyzing Clean Energy Industries and Jobs Through Federal Sustainability*. https://www.federalregister.gov/documents/2021/12/13/2021-27114/catalyzing-clean-energy-industries-and-jobs-through-federal-sustainability
- *Climate Adaptation Partnerships (CAP) / Regional Integrated Sciences and Assessments (RISA).* https://cpo.noaa.gov/divisions-programs/climate-and-societal-interactions/cap-risa/
- *Climate Smart Caribbean Program.* https://caribbeanclimatehub.org/about/enabling-climate-smart-decisions-for-agriculture-and-forestry-in-the-u-s-caribbean/

| Objetivos | Estrategias de mitigación, adaptación o resiliencia ante el cambio climático en Puerto Rico | Entidad responsable | Costo estimado | Fuente potencial de financiamiento | Período aproximado | Resultado (R) / Métricas (M) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A.4.1** Implementar y sostener procedimientos eficaces de preparación y respuesta ante situaciones de emergencia con el fin de salvaguardar a las poblaciones desatendidas, desfavorecidas y desventajadas que son más vulnerables a los efectos del cambio climático. | **1.** Incorporar en la planificación urbana estrategias para reducir el impacto de desastres.<br><br>Colaboradores potenciales: DRNA, JP, DDEC, ACT, DS, UPR, DF y otras entidades con participación o presencia en comunidades expuestas a desastres climáticos, entre estas, corporaciones públicas, municipios y organizaciones de base comunitaria y otras instituciones académicas. | NMEAD | Costos operacionales de nómina | Fondos operacionales de cada agencia | Mediano a largo plazo (10 años) | **R:** Políticas y procedimientos para atender situaciones de emergencia revisados.<br><br>**M:** Efectividad de las políticas y procedimientos con el fin de salvaguardar a la población más vulnerable a los efectos del cambio climático. |
| | **2.** Identificar a las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas más vulnerables a los desastres climáticos y, a base de esa información, utilizar barreras naturales (ej., manglares y arrecifes) para proteger a estas comunidades.<br><br>Colaboradores potenciales: DRNA, JP, DDEC, ACT, DS, UPR, DF y otras entidades con participación o presencia en dichas comunidades, entre estas, corporaciones públicas, municipios y organizaciones de base comunitaria y otras instituciones académicas. | NMEAD | Costos operacionales de nómina | Fondos operacionales de cada agencia | Mediano a largo plazo (10 años) | **R:** Número de políticas y programas climáticos que han sido sometidos a un análisis sobre su impacto en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables.<br><br>**M:** Porcentaje de políticas y programas climáticos que han sido sometidos a un análisis de su impacto en las comunidades desatendidas, desfavorecidas y desventajadas vulnerables. |

CAPÍTULO 8

# Adopción del plan

El artículo 16 de la Ley 33-2019 —Aprobación del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático— establece:

> Una vez aprobado el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático por la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático, según dispone el Artículo 16 de esta Ley, será sometido al Pleno de ambos Cuerpos de la Asamblea Legislativa para su consideración durante la Sesión Ordinaria en que se someta. De aprobarse por ambas Cámaras se enviará al Gobernador de Puerto Rico para su firma como cualquier proyecto de ley. Si al finalizar la Sesión Ordinaria para su consideración, la Asamblea Legislativa no ha actuado en cuanto al Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático, se entenderá que el Plan fue aprobado y será remitido al Gobernador de Puerto Rico para su firma o veto.

## Implantación, monitoreo, evaluación y actualización del plan

Las entidades gubernamentales —departamentos, agencias, corporaciones, oficinas e instrumentalidades del gobierno de Puerto Rico— y sus municipios serán responsables de la implantación del Plan, conforme a lo dispuesto en los artículos 7, 8, 11 y 25 de la Ley 33-2019, teniendo en cuenta lo establecido en el Plan sobre las entidades responsables de atender los COA.

El P-MARCC, según diseñado, tiene que actualizarse en un término de cinco (5) años. El CEACC será responsable de fiscalizar la implantación de las medidas adoptadas en el P-MARCC, de las políticas climáticas y de los planes de acción sectoriales que encaminen hacia alcanzar las finalidades de la Ley 33-2019. El CEACC preparará un informe conjunto de seguimiento y evaluación del P-MARCC para presentar a la Asamblea Legislativa cada tres (3) años a partir de la fecha de aprobación del Plan. Estos informes trienales de fiscalización servirán para la revisión del propio P-MARCC como marco general de referencia para las actividades de evaluación de los efectos socioeconómicos, la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

## Asignación de fondos para el CEACC

El CEACC debe tener disponibles los fondos necesarios para cubrir los costos de cumplir con la encomienda que le asigna la Ley 33-2019 de monitorear y evaluar el seguimiento de la implantación del P-MARCC. Atender esa encomienda conlleva una serie de procesos y actividades anuales. La Ley 33-2019 establece en su artículo 14 el Fondo de Cambio Climático para atender asuntos relacionados con los propósitos de este Plan, y enumera una serie de fuentes potenciales. Estos fondos deben estar alineados con apoyar la iniciativa de formar una secretaría donde haya personal para completar todas las tareas de monitoreo de cumplimiento.

## Supremacía

Las disposiciones del P-MARCC o normas que se adopten de conformidad con el mismo prevalecerán sobre cualquier otra disposición de ley, reglamentaria o norma, que no estuviere en armonía con las primeras. En la Ley 33-2019, artículo 8, se establece que el P-MARCC debe ser consistente con el Plan Integrado de Recursos aprobado por el Negociado de Energía de Puerto Rico y la Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico.

## Vigencia

Este Plan entrará en vigor en treinta (30) días a partir de la firma del gobernador de Puerto Rico.

CAPÍTULO 9

# Recomendaciones y conclusiones

## Recomendaciones

Son varias las recomendaciones que se identifican a partir del análisis de los diagnósticos y el establecimiento de los cursos de acción por sector. Además, se identifican recomendaciones alineadas a realizar enmiendas en el marco legal de la Ley 33 del 2019.

### Propuestas de enmiendas a la Ley 33-2019

1. Enmendar el artículo 2 (Definiciones) de la Ley 33-2019 para incluir la definición de infraestructura crítica.
2. Enmendar el artículo 4 (Propósitos) de la Ley 33-2019 para añadir como décimo inciso:

   10. Implantar medidas de adaptación y resiliencia para proteger la vida y la propiedad de las manifestaciones del cambio climático.

3. Enmendar el artículo 5.2 de la Ley 33-2019 para añadir al final:

   y en un 100 % para el 2050.

4. Enmendar el artículo 5.13 de la Ley 33-2019 para remplazar con:

   Promover la reforestación mediante la siembra de 500,000 árboles anuales por los próximos 10 años.

5. Enmendar el artículo 5 (Objetivos iniciales de reducción) de la Ley 33-2019 para añadir el inciso:

   5.15 Reducir la demanda de agua en uno por ciento (1 %) anual por diez años.

6. Enmendar el artículo 7 (Deberes y facultades del Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático) de la Ley 33-2019 para que el inciso (g) lea como sigue:

   Se autoriza y se faculta a expedir multas contra cualquier agencia gubernamental, entidad gubernamental, corporación pública o empresa privada que incumpla con las disposiciones de esta Ley y la implantación de las políticas climáticas.

7. Enmendar el artículo 9 (Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático) de la Ley 33-2019 para sustituir el texto del inciso g) 5 con el siguiente:

   Reusar totalmente las aguas usadas tratadas de las plantas de tratamiento de aguas usadas de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.

8. Enmendar el artículo 9 (Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático) de la Ley 33-2019 para que el inciso g) 6 lea como sigue:

   Reducir la demanda de agua potable mediante el uso de equipo de bajo consumo de agua en nuevos proyectos de vivienda, comerciales e industriales.

9. Enmendar el artículo 9 (Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático) de la Ley 33-2019 para añadir el inciso:

   g) 10: Requerir el riego obligatorio de campos de golf con aguas usadas tratadas.

10. Enmendar el artículo 9 (Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático) de la Ley 33-2019 para que el inciso g) 11 lea como sigue:

    Dirigir el desarrollo de vivienda e infraestructura a áreas no susceptibles al aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica y marejadas de frentes de frío.

11. Enmendar el artículo 9 (Medidas del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático) de la Ley 33-2019, con el propósito de atemperar el inciso C, titulado Transporte y movilidad, a las nuevas políticas públicas y el marco legal del gobierno de Estados Unidos. La alineación de Puerto Rico con las prioridades del gobierno federal facilitará la planificación, acceso a financiamiento e implantación de las estrategias y proyectos de cambio climático relacionados con el sistema de transportación. Las enmiendas serían a los fines de:

    a. Cambiar el título para que lea: "Sistema de transportación y movilidad".

       i. La enmienda propuesta tiene el fin de incluir los otros modos de transportación, como los del la aérea y marítima, que juegan también un papel importante en la disminución de los gases de invernadero y en lidiar con el cambio climático. Al incorporar los otros modos de transporte que se dejaron fuera de la Ley 33-2019, el estatuto se

atempera al marco legal federal referente al sistema de transportación de Estados Unidos. La política pública federal promueve la integración e intermodalidad entre los diferentes modos de transportación y reconoce que la transportación aporta una tercera parte de las emisiones de GEI. Con esta enmienda, se hará factible que se desarrollen proyectos y estrategias que permitan que las instalaciones marítimas y aéreas sean sustentables y amigables con el ambiente.

b. Incorporar y promover el concepto de calles completas. La Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) cuenta ya con el reglamento y programa de calles completas. Este concepto promueve que las ciudades y zonas urbanas sean amigables al peatón, promoviendo calles más anchas, mejor ornamentación e incluso carriles para bicicletas. Hacer a la ciudad más peatonal disminuye la utilización del carro privado, lo que propicia una merma en la emisión de GEI. Una mejor ornamentación de las zonas urbanas hace del lugar más amigable y habitable. A esto se suman más áreas verdes lo que ayuda a disminuir las temperaturas y los gases en el ambiente. También es una forma de mitigar el fenómeno de isla de calor.

c. Incorporar y promover el concepto de distritos de desarrollo orientado al transporte (TOD, por sus siglas en inglés). La ACT cuenta con un marco legal para promover los TOD a 500 metros alrededor de las estaciones del Tren Urbano. Con esta enmienda se busca que se amplíe la extensión del concepto y que sea aplicable a los cascos urbanos de los municipios (la mayoría de los terminales de los carros públicos están en los cascos urbanos) y en los corredores urbanos de alta densidad o identificados para urbanizar. Los TOD ayudan a promover un desarrollo urbano de vivienda y comercio cerca de las rutas de transporte colectivo. Esto promueve la utilización y maximización de los transportes colectivos por parte de los ciudadanos, bajando las emisiones de gases al reducir la utilización de los automóviles. También, los TOD promueven viviendas asequibles en las zonas urbanas y el establecimiento de comercios en sus alrededores. Al ayudar a compactar la ciudad, esta acción protege terrenos y áreas naturales en la periferia de la ciudad, otra forma de responder al cambio climático.

12. Enmendar la Ley 33-2019 para incorporar el enfoque de justicia climática entre las definiciones y las políticas climáticas de la Ley, y establecerlo en el reglamento exigido en el inciso g del artículo 7 del estatuto.

### Otras recomendaciones

1. Tomar en cuenta el diagnóstico presentado en la sección 4.11 de este Plan y las disposiciones de la Ley 33-2019 en el proceso de revisión del Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Compañía de Turismo de Puerto Rico (2016), su marco legal y desarrollo.
2. Establecer planes de monitoreo continuos y a largo plazo de ecosistemas marinos y zonas costeras tales como dunas, playas, lagunas costeras, humedales, hierbas marinas, arrecifes de coral y algas, entre otros, a nivel de todo el litoral.
3. Mantener en revisión continua los geodatos y la información sobre el estado de los sistemas marinos y las zonas costeras.
4. Utilizar los datos e información más recientes y basados en la mejor ciencia sobre el estado de los sistemas marinos y zonas costeras de Puerto Rico como base para la revisión y el diseño de los instrumentos de planificación y política pública.
5. Establecer el Plan de Manejo Integrado Nacional de los ecosistemas marinos y zonas costeras de Puerto Rico que incluya dunas, playas, humedales, arrecifes, hierbas marinas y algas, entre otros.
6. Reconocer las hierbas marinas como un ecosistema marino crítico a proteger.
7. Integrar estrategias que fortalezcan la protección de los "hábitats críticos" costeros y marinos en los instrumentos de planificación y política pública.
8. Revisar y actualizar los planes de manejo de las cuencas hidrográficas para que incluyan estrategias que protejan la conexión de la cuenca hidrográfica con la costa y los sistemas marinos.
9. Priorizar y establecer estrategias para mejorar la calidad del agua marina y ribereña.
10. Priorizar y establecer estrategias basadas en las mejores prácticas que ayuden a reducir la descarga de sedimentos en suspensión y exceso de nutrientes para conservar la biodiversidad.
11. Integrar en todos los instrumentos de planificación los efectos del alcance del aumento del nivel del mar en Puerto Rico, a base de la mejor proyección o modelo científico local disponible.
12. Incluir en los planes y análisis de vulnerabilidad al cambio climático de todas las agencias para proteger su infraestructura, los escenarios aprobados por el CEACC identificados en el capítulo 4 del P-MARCC.
13. Priorizar en establecer la delimitación de una línea o franja donde no se autoricen nuevas construcciones en terrenos con alcance de inundación producida por el aumento del nivel del mar, marejadas ciclónicas, oleaje ciclónico u otro tipo de marejada, combinación de alcance de estas amenazas (*water level*) o la que presente el alcance de inundación mayor.
14. Dar prioridad a las soluciones basadas en naturaleza en el manejo y la restauración de los ecosistemas costeros y en el control de la erosión costera.
15. Priorizar la adaptación de los asentamientos poblacionales, la infraestructura y los servicios ya existentes ante las amenazas del aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica o el efecto combinado (*water level*).
16. Toda nueva construcción debe edificarse en áreas no susceptibles al aumento del nivel del mar, a la marejada ciclónica y marejadas de frentes de frío, durante la vida útil de la edifi-

cación (normalmente, 75 años para vivienda, y más de 100 años para infraestructura crítica).

17. Debe iniciarse la reubicación planificada de la vivienda pública e infraestructura crítica que estén ubicadas en áreas susceptibles al aumento del nivel del mar, a la marejada ciclónica y a marejadas de frentes de frío.
18. Con el propósito de atender las necesidades de adaptación y resiliencia al cambio climático de las comunidades desfavorecidas, se recomienda que se asigne 45 % de los fondos locales y federales sobre cambio climático para proteger a estas comunidades.
19. Urge construir o habilitar centros de enfriamiento o refugios del calor en cada municipio para proteger a la población en desventaja socioeconómica de las temperaturas extremas y olas de calor.
20. La aclimatación de residencias de personas desatendidas, desfavorecidas o desventajadas y la provisión de suficientes placas solares y baterías de capacidad apropiada son medidas efectivas para proteger la vida y la salud de estas personas durante episodios de temperaturas extremas y olas de calor.
21. Es imperativo proteger la infraestructura que apoya al sector turístico (hoteles, carreteras, puertos, aeropuertos, entre otros) y a los recursos naturales que motivan al turista a viajar a Puerto Rico (playas, arrecifes de coral, El Yunque, el Bosque Seco de Guánica, bahías bioluminiscentes) del impacto de las múltiples manifestaciones del cambio climático.
22. Se debe acelerar la transformación del sistema de generación de electricidad de uno a base de energía fósil a un sistema de energía renovable o alternativa, de manera que la transformación del parque vehicular de Puerto Rico a vehículos eléctricos redunde en una reducción significativa de emisiones de gases de efecto de invernadero.
23. La reforestación urbana es un componente indispensable para reducir el efecto de las altas temperaturas y olas de calor.
24. Para compensar por la merma del recurso agua debido al cambio climático, se concluye que se debe:
    a. reducir la pérdida de agua en el sistema de distribución de 60 a 17 %;
    b. reusar en su totalidad las aguas usadas tratadas de la AAA y la empresa privada;
    c. exigir la captura y el aprovechamiento del agua de lluvia en viviendas existentes y de nueva construcción;
    d. implantar de forma escalonada el programa de conservación de agua *WaterSense* de la EPA en todos los hogares de Puerto Rico.

25. La reforestación masiva aguas arriba de los embalses es una medida indispensable para frenar la sedimentación de estos cuerpos de agua que suplen 70 % del agua potable de Puerto Rico.
26. Establecer alianzas y acuerdos de entendimiento entre agencias estatales y corporaciones públicas, la academia, municipios, organizaciones no gubernamentales y agencias federales para el manejo práctico de los sistemas marinos y zonas costeras. Entre las agencias estatales relacionadas están, por ejemplo, la Junta de Planificación, el Negociado para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres, la AAA, ACT, WIPR, el Centro de Recaudación de Ingresos Municipales, el Departamento de la Vivienda, la Oficina de Gerencia de Permisos, la Compañía de Turismo, el Departamento de Educación, la Autoridad de los Puertos, COR3 y el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. Entre las agencias federales relacionadas están, por ejemplo: NOAA, EPA, el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados.
27. Fortalecer las actividades de educación y divulgación sobre las amenazas costeras tales como marejada ciclónica, marejadas de invierno, oleaje asociado a sistemas ciclónicos, aumento del nivel del mar y corrientes de resacas, entre otras. Estas iniciativas deben realizarse en coordinación con el Servicio Nacional de Meteorología, adscrito a la NOAA, y con el NMEAD.
28. Integrar a las comunidades y asociaciones de pescadores, particularmente aquellos que se encuentran en áreas costeras vulnerables, en la discusión y toma de decisiones sobre el manejo costero.
29. Educar a los diversos sectores sobre la situación de los arribazones de sargazo a las costas de Puerto Rico y su impacto en los ecosistemas costeros y marinos, como también en la salud, los servicios, el desarrollo económico y el bienestar de la ciudadanía puertorriqueña.
30. Establecer estrategias para la prevención y el control de especies invasoras.
31. Aumentar el reclutamiento de personal en el DRNA para dar apoyo en las tareas y responsabilidades asociadas al proceso de implantación de este plan.
32. Priorizar la contratación de personal administrativo en el DRNA para agilizar los procesos.
33. Se recomienda que en el próximo ciclo de revisión y actualización de este plan se utilicen los datos del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos más reciente del DRNA.
34. Se recomienda que en el próximo Inventario de Gases de Efecto de Invernadero de Puerto Rico y en los subsiguientes se incluya al sector de la salud.
35. Se recomienda que en el próximo Inventario de Gases de Efecto de Invernadero de Puerto Rico y en los subsiguientes se consideren datos generados por el sector privado sobre sus emisiones producidas y nivel de reducción alcanzado.
36. Se recomienda que en el próximo ciclo de revisión y actualización de este plan se ausculte la posibilidad de desarrollar pilares estratégicos para reorganizar y priorizar los cursos de acción.
37. En los planes de manejo de cuencas hidrográficas se debe considerar incluir el enfoque de cambio climático atendido en el P-MARCC como unidad de planificación.
38. Capacitar a personal para utilizar tecnologías de control de la erosión y prevenir la sedimentación de forma más eficiente y abarcadora, y para monitorear proyectos de construcción que puedan propiciar escorrentía pluvial y sedimentación con impacto potencial en las ya vulnerables zonas

costeras y marítimas. Involucrar a las comunidades locales en proyectos de ciencia ciudadana para monitorear áreas específicas y aumentar la participación pública, la concienciación ciudadana y su vinculación con la protección de los recursos naturales.

39. La Oficina de Bienes Raíces de la Autoridad de Tierras debe actualizar su inventario y se deben promulgar cambios que permitan la segregación de terrenos y la renta compartida.

40. Auscultar la viabilidad de crear un panel de datos (*dashboard*) que contenga informes técnicos con sus respectivos enlaces, clasificados por temas para su fácil acceso. Asignar fondos para la inversión en tecnología digital que visibilice el progreso de las métricas de ejecución del P-MARCC en tiempo real.

41. Enmendar las siguientes leyes para que incluyan los efectos del cambio climático. Una vez que se enmienden, desarrollar los planes y programas que estas leyes ordenan crear para gestionar a Puerto Rico como un destino turístico adaptado y resiliente al cambio climático.

    a Ley 550-2004 - Plan Sectorial de Turismo (Plan de Uso de Terrenos 2015).
    b. Ley 254-2006 - Plan Maestro para el Desarrollo de Turismo Sostenible de Puerto Rico, artículo 7(a).
    c. Ley 125-2016 - Plan Maestro para el Desarrollo de Turismo Sostenible de Puerto Rico, artículo 5.
    d. Ley 17-2017 - Plan de Desarrollo de Destino.
    e. Ley 10-1970 - Desarrollo del Programa de Turismo de Naturaleza, artículo 5(10).

42. Revisar y enmendar las siguientes leyes, reglamentos y proyectos para asegurar que se atienden los objetivos de los cursos de acción de la sección 7.6 (agricultura y ganadería):

    a. Ley 19-1973 - Ley de Abonos de Puerto Rico y su respectivo reglamento.
    b. Ley 228-2003 - Ley de Productos Orgánicos de Puerto Rico y su respectivo reglamento.
    c. Ley 73-2017 - Ley de Planificación, Programación y Desarrollo Agrícola.
    d. Ley 211 de 1946 y enmienda Ley 117 de 2015 - Ley de Distritos de Conservación de Suelos de Puerto Rico.
    e. Ley 240-2015 - Ley del Programa de Orientación e Información sobre la Siembra de Huertos Caseros, Urbanos, Familiares, Comunales y Escolares.
    f. Ley 62-2009 - Ley de Promoción y Desarrollo de Empresas de Biotecnología Agrícola de Puerto Rico.
    g. Ley 140-2015 - Ley para el Manejo de Prácticas Agrícolas.
    h. Ley 34-2022 - Ley para Salvaguardar la Asignación de Agua de los Embalses para los Sistemas de Riego Agrícola.
    i. Ley 53-1971 - Ley para el Fomento del Desarrollo Agrícola de Puerto Rico.
    j. Ley 32-2010 - Ley del Corredor Agroeconómico de la Región Central de Puerto Rico.
    k. Ley 17-2019 - Ley de Política Pública Energética.
    l. Ley 33-2019 - Ley para la Mitigación, Adaptación, Resiliencia al Cambio Climático.
    m. Ley 233-2018 - Ley para Establecer como Política Pública Separar Predios de Terreno Propiedad de Agencias y Dependencias para Utilizarse como Fincas o Huertos Escolares Mediante Acuerdos Colaborativos con el Departamento de Educación.
    n. Ley 107-1974 - Ley de Preservación de Tierras para Uso Agrícola.
    o. Leyes de reservas agrícolas (varias).
    p. Reglamento 8700 del 2016.
    q. Reglamento 8615 del 2015.
    r. Reglamento 7656 del 2008 de la Junta Calidad Ambiental - Reglamento para el control de desperdicios fecales de animales de empresas pecuarias.
    s. Reglamento 7475 del 2008 del Departamento de Agricultura.
    t. Reglamento para regir la importación, registro e inspección de fincas de producción de semillas para venta y exportación.[1]
    u. Reglamento 6837 del 2004 de Seguros Agrícolas.
    v. Reglamento 9244 del 2020.
    w. Reglamento Conjunto.
    x. Reglamento 4352 del 1990 (Reglamento para la operación del Banco de Terrenos Agrícolas).
    y. Proyecto del Senado 624 de 2013 para crear la Ley de Producción, Distribución y Certificación de Semillas de Puerto Rico (no aprobado).

43. Otras recomendaciones para atender los efectos del cambio climático sobre la agricultura:

    a. Reducir la pérdida de agua en los canales de riego de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) de 60 a 10 %.
    b. Requerir obligatoriamente el sistema por goteo para cultivos agrícolas. Si este sistema no fuese compatible con algún cultivo, exigir el *center pivot system*.
    c. Insertar con mayor prioridad al Departamento de Agricultura en las iniciativas de conservación de agua del DRNA y la AEE.
    d. Construir charcas para la captura de agua de lluvia y su infiltración a los acuíferos en terrenos agrícolas.
    e. Utilizar, donde sea viable, las aguas usadas tratadas para el riego agrícola.
    f. Explorar la viabilidad de utilizar las aguas usadas tratadas de la planta regional de Ponce para riego agrícola.

## Conclusiones

Es imprescindible comenzar a implantar con urgencia las medidas de adaptación y resiliencia en Puerto Rico para proteger la vida y

[1] Disponible en: https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/pr3-2006seedsAct.pdf

propiedad de los residentes del archipiélago ante los efectos del cambio climático.

De no tomarse medidas de adaptación y resiliencia apropiadas, son muchos los sectores que recibirán el impacto de las manifestaciones del cambio climático que en muchos casos afectarán la continuación adecuada de sus servicios. Por ejemplo, el turismo será el sector económico más perjudicado por el cambio climático. Además, este fenómeno afectará significtivamente los recursos hídricos.

Por otro lado, gran parte de la población de Puerto Rico desconoce cómo el cambio climático está afectando sus vidas en la actualidad y cómo les impactará a mediano y a largo plazo. Por tanto, es urgente continuar informando y educando en relación con la situación actual y futura de las consecuencias del cambio climático sobre el bienestar y la seguridad de la gente.

Esto especialmente cuando se identifica que muchas infraestructuras críticas y viviendas son vulnerables al aumento del nivel del mar, la marejada ciclónica y las marejadas de invierno.

Las fuentes principales de emisiones de gases de efecto de invernadero en Puerto Rico son: las plantas generatrices de electricidad, la transportación y los vertederos de residuos.

# ANEJOS

## Anejo 1

# Definiciones

Este P-MARCC utiliza términos o frases con el significado de las definiciones contenidas en la Ley 33 de 2019, Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico, en su artículo 2. Además de las definiciones incluidas en la Ley 33 de 2019, y en cumplimiento con la encomienda del estatuto de educar y orientar, proveemos las siguientes definiciones sobre otros términos utilizados en los capítulos del P-MARCC:

**Adaptación** - Se refiere a la capacidad de ajuste de los sistemas naturales o humanos al cambio climático, o a sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar aspectos beneficiosos.

**Agencia** - Significa cualquier departamento, autoridad, junta, comisión, división, oficina, negociado, administración, corporación pública o subsidiaria de esta, o instrumentalidad del Gobierno de Puerto Rico, incluyendo cualquiera de sus funcionarios, empleados o sus miembros que actúen o aparenten en el desempeño de sus deberes oficiales, incluyendo los municipios, consorcios y corporaciones municipales.

**Amenaza** - Significa cualquier efecto adverso potencial asociado al cambio climático que pueda causar la muerte, lesiones u otros impactos sobre la salud, daños materiales, pérdida de los medios de vida y servicios, interrupción de la actividad social y económica, o degradación ambiental.

**Aumento en el nivel del mar** - Significa un incremento en el nivel promedio del mar, el cual es ocasionado principalmente por la expansión térmica del agua al aumentar la temperatura en los océanos y mares; también es causado al derretirse capas de hielo que se encuentran sobre tierra y las concentradas en los cascos polares; y por factores locales como erosión costera y subsidencia del terreno.

**Calentamiento global** - Significa el aumento en la temperatura promedio global.

**Cambio climático** - Es una variación estadística importante en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado. Este cambio de clima normalmente se puede deber a procesos naturales internos o a cambios externos, o persistentes atribuidos directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

**Causas antropogénicas** - Significa las causas resultantes de actividades humanas o producidas directa o indirectamente por los seres humanos.

**Climatología** - Es la ciencia que se basa en el estudio de las medidas registradas de los parámetros meteorológicos en el mayor número de lugares, y para cada lugar en el mayor número de años posible.

**Composta** - Se refiere a la degradación microbiana controlada de desechos orgánicos para desarrollar un producto con valor potencial como acondicionador de terrenos.

**Concertación comunitaria** - Significa la participación de representantes de todos los sectores de una comunidad, incluyendo organizaciones no gubernamentales, gobierno municipal y sector privado, ya sea comercial o industrial, entre otros.

**Condicionantes abióticos del ecosistema** - Es el conjunto de factores abióticos, o elementos no vivos del ecosistema, que interacciona con los organismos.

**Contaminante** - Significa aquella sustancia introducida en el ambiente que tiene efectos no deseados, o afecta negativamente la utilidad de un recurso.

**Curso de acción** - Para el P-MARCC, un curso de acción (COA) es una recomendación basada en un proceso de planificación que considera qué tipos de acciones se deben tomar a través de unos objetivos y estrategias clave para lograr soluciones a un evento o situación con métricas cuantificables.

**Desarrollo sostenible** - Implica cómo las sociedades deben vivir hoy si quieren un futuro mejor, ocupándose de las necesidades presentes sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras de cumplir con las suyas.[1]

**Desperdicio cero** - Se refiere a la combinación de esfuerzos para eliminar la mayor parte posible de la basura generada a través de materiales reciclables y otros materiales que pueden ser reutilizados, reciclados o degradados sin afectar el ambiente, e incluye la reducción del desperdicio de materiales empleados para la elaboración de un producto determinado.

**Determinantes climáticos** - El clima se describe mediante cuatro factores principales: temperatura, radiación, viento y humedad.[2] Los factores determinantes del clima se refieren a ciertas condiciones, en general físico-geográficas, que son relativamente constantes y no sufren cambios horarios, diurnos o anuales, y tienen gran influencia en el clima por el papel que juegan en la transferencia de energía y calor. Entre los factores determinantes se destacan la latitud, la altitud y la distancia del mar.[3]

---

[1] Véanse: ONU. *¿En qué consiste el desarrollo sostenible?*- https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2023/08/what-is-sustainable-development/ y CEPAL. Acerca de Desarrollo Sostenible: https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible

[2] D. Morillón, R. Saldaña, I., Castañeja y U. Miranda, U. (2004). *Atlas bioclimático de la República Mexicana.* http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/atlas.pdf

[3] IDEAM (2005). *Atlas Climático de Colombia*. Bogotá D. C.: Imprenta Nacional de Colombia. http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/index.html

**Determinantes culturales** - De acuerdo con algunos autores, los determinantes culturales se refieren a relaciones culturales que influyen en distintos ámbitos de la sociedad, como la salud. Estas se definen como relaciones de equivalencia con respecto al conocimiento, por ejemplo, de la ciencia, la tecnología, el arte, las artes culinarias, la religión, la filosofía, los valores y la ideología, entre otros.[4]

**Determinantes ecológicos** - Los determinantes ecológicos enfatizan las relaciones interdependientes en el sistema de ambientes que pueden afectar la salud humana por aquellos componentes de ambientes físicos, biológicos y psicosociales que contienen, en el componente físico: aire, agua, suelo, vivienda, clima, geografía, calor, luz, ruido, escombros, radiación, etc.; en el componente biológico: hombre, virus, agentes microbianos, insectos, roedores, animales y plantas, etc., y en el componente psicosocial: valores culturales, costumbres, creencias, hábitos, actitudes, moral, religión, educación, estilos de vida, vida comunitaria, servicios de salud, y organizaciones sociales y políticas.[5]

**Determinantes políticos** - Significa analizar cómo las diferentes relaciones de poder, instituciones, procesos, intereses y posiciones ideológicas afectan la salud dentro de diferentes sistemas políticos y culturas y en diferentes niveles de gobierno.[6]

**Determinantes sociales de la salud** – Son "las circunstancias en que las personas nacen, crecen, viven, trabajan y envejecen, incluido el sistema de salud".[7] Esas circunstancias son el resultado de la distribución del dinero, el poder y los recursos a nivel mundial, nacional y local, la cual depende a su vez de las políticas adoptadas. La distribución desigual se traduce en grandes diferencias en materia de salud entre países desarrollados y los que están en vías de desarrollo.[8]

**Dinámica hidrológica** - Se refiere a todas las entradas y salidas de agua en conjunto, a la forma en que el recurso se distribuye en el ecosistema.

**Dióxido de carbono** - Se refiere al principal gas de efecto de invernadero que se produce de forma natural, y también como subproducto de la combustión de combustibles fósiles —como lo son el petróleo, gas natural y el carbón—, cambios en el uso de las tierras, la incineración de desperdicios sólidos y otros procesos industriales.

**Edáfico** - Se refiere a la composición química, física y biológica asociada a los suelos.

**Educación ambiental** - Es el proceso a través del cual se educa a la sociedad para que tome conciencia sobre la realidad global del planeta, sobre la relación del ser humano entre sí y con la naturaleza y de los problemas que surgen de esta relación y sus consecuencias, así como las causas que llevan a ellos. Como resultado, los individuos alcanzan un entendimiento más profundo de las temáticas ambientales y tienen las herramientas para tomar decisiones informadas y responsables sobre el medioambiente.

**Efecto de invernadero** - Significa el proceso por el cual ciertos gases absorben la radiación solar convertida en calor por la superficie del planeta, de esta forma aumentando la temperatura atmosférica y oceánica.

**Eficiencia energética** - Se refiere a la relación entre el producto de energía de un proceso de conversión o de un sistema con su insumo de energía.

**Emisiones** - Se refiere a la liberación de gases de efecto invernadero, sus precursores o aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período específicos.

**Endemismo** - Se refiere a la cantidad de especies endémicas o únicas de una zona o región geográfica.

**Energía alternativa** - Es la energía derivada de combustible que no tiene origen fósil y que no es derivada de la conversión o incineración de desperdicios sólidos.

**Energía renovable** - Se refiere a las fuentes de energía que son sostenibles, tales como la solar, la hidrológica, la océano termal, la eólica, biomasa y cualesquiera otras tecnologías no basadas en combustibles fósiles, o en la conversión o incineración de desperdicios sólidos.

**Fenómenos o eventos extremos** - Aquellos que son capaces de amenazar la continuidad de operaciones en nuestra sociedad llevando al límite nuestra capacidad de respuesta.

**Gases de efecto de invernadero (GEI)** - Significa los gases presentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero y que son capaces de absorber la radiación infrarroja, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera, incluyendo dióxido de carbono ($CO_2$), óxido nitroso ($N_2O$), metano ($CH_4$), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (PFCs). Dichos compuestos químicos se miden en toneladas por año de emisiones de dióxido de carbono equivalentes ($CO_2e$). Las emisiones de $CO_2e$ representarán la cantidad de GEI emitidos y se calculará conforme a lo definido en la reglamentación federal.

---

[4] C. Muntaner y J. Benach (2023). "*Why Social (Political, Economic, Cultural, Ecological) Determinants of Health? Part 1: Background of a Contested Construct". International Journal of Social Determinants of Health and Health Services, 53*(2), pp. 117-121. doi:10.1177/27551938231152996

[5] A. M. Li (2017, abril). *"Ecological determinants of health: food and environment on human health". Environ Sci Pollut Res Int. 24*(10): 9002-9015. doi: 10.1007/s11356-015-5707-9. Epub 2015 Nov 10. PMID: 26552789; PMCID: PMC7089083.

[6] Ilona Kickbusch (2015). *"The political determinants of health--10 years on". BMJ (Clinical research ed.), 350*. h81. 10.1136/bmj.h81

[7] Organización Mundial de la Salud. Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud (2008). *Subsanar las desigualdades en una generación. Informe Final*. Ginebra: OMS/OPS. https://iris.who.int/handle/10665/44084

[8] M. A. de La Guardia Gutiérrez y J. C. Ruvalcaba Ledezma (2020). "La salud y sus determinantes, promoción de la salud y educación sanitaria". *Journal of Negative and No Positive Results*, *5*(1), pp. 81-90. Epub 29 de junio de 2020. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2529-850X2020000100081

**Impuesto ambiental** - Se refiere al gravamen impuesto por cada unidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente producidas por una fuente sujeta a impuesto.

**Infraestructura** - Significa el equipo básico, empresas de servicios públicos, empresas de producción, instalaciones, instituciones y servicios esenciales para el desarrollo, funcionamiento y crecimiento de la isla, incluyendo y sin limitarse a, las carreteras, las escuelas, la electricidad, el gas y servicios de agua, el transporte y la comunicación.

**Instalación para el manejo de residuos sólidos** - Cualquier área de disposición de residuos sólidos, planta reductora o de reciclaje, estación de trasbordo u otra instalación cuyo propósito sea la recuperación, procesamiento, almacenamiento o disposición de los residuos sólidos.

**Manejo de residuos sólidos** - Proceso mediante el cual los residuos sólidos se recogen, transportan, almacenan, procesan o disponen en conformidad con un programa planificado.

**Material reciclable** - Aquellos materiales potencialmente procesables y reutilizables como materia prima para la elaboración de otros productos.

**Material recuperado** - Aquel material potencialmente reciclable que ha sido removido del resto de los desperdicios para su venta, utilización o reutilización, ya sea mediante separación, recogido o procesamiento.

**Mitigación** - Se refiere a las medidas e iniciativas que permitan limitar y reducir fuentes antropogénicas de emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar nuestros sumideros de carbono naturales.

**Permiso de emisión** - Significa una autorización para emitir, durante un año, determinada cantidad equivalente de dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero.

**Planificación estratégica** - Se relaciona con el desarrollo de la misión y visión de una organización, ya que por medio de esta se identifican los problemas más apremiantes y se seleccionan las mejores opciones para solucionarlos, a la misma vez que se alcanzan los objetivos. Además, la organización puede identificar sus puntos fuertes y débiles para mejorar en la toma de decisiones tanto en el presente como en el futuro. La planificación estratégica de ciudades sienta las bases a largo plazo, ya que se establecen cursos de acción y estrategias para alcanzar los objetivos establecidos. Este proceso involucra a los agentes locales a lo largo de todo el proceso[9].

**Planificación participativa** - Surge de la lucha de los ciudadanos para mejorar los problemas sociales que enfrentaban y que el Estado no remediaba, tales como la pobreza, la falta de vivienda, los problemas de salud y la falta de empleo. Los movimientos sociales de la década de 1980 reclamaron comunicación y participación. Mediante estos procesos se comenzó a promover la democracia participativa con el objetivo de contrarrestar los efectos de la democracia representativa, legitimada por el proceso electoral, que consistía en las relaciones del ciudadano con el gobierno.[10]

**Poblaciones o comunidades desatendidas** - Grupos que tienen acceso limitado o nulo a los recursos o que de otro modo están privados de sus derechos. Estos grupos pueden incluir personas en desventaja socioeconómica; personas con dominio limitado del inglés; personas geográficamente aisladas o carentes de derechos educativos; personas afroamericanas o de piel oscura, así como aquellas de minorías étnicas y de origen nacional; mujeres y niños; personas con discapacidades y otras con necesidades funcionales y de acceso; y personas mayores.[11]

**Poblaciones o comunidades desfavorecidas o desventajadas** - El gobierno federal de Estados Unidos dispone que las agencias deben considerar datos, índices y herramientas de detección apropiados para determinar si una comunidad específica está en desventaja en función de una combinación de variables que pueden incluir, entre otras, las siguientes:[12]

- Bajos ingresos, pobreza alta y/o persistente.
- Alto desempleo y subempleo.
- Segregación residencial racial y étnica, particularmente cuando la segregación surge de la discriminación por parte de entidades gubernamentales.
- Aislamiento lingüístico.
- Altos costos de vivienda y viviendas deficientes.
- Comunidades empobrecidas.
- Alto costo de transporte y/o poco acceso al transporte.
- Carga desproporcionada de factores ambientales estresantes y alta acumulación de impactos.
- Acceso y asequibilidad al agua y al saneamiento limitados.
- Impactos desproporcionados del cambio climático.
- Alto coste energético y pobre acceso a la energía.
- Empleos perdidos durante la transición energética.
- Acceso a la atención sanitaria.

**Reciclaje** - Proceso mediante el cual los desperdicios sólidos se recogen, separan, procesan y reutilizan en forma de materia prima o productos.

**Recuperación** - Proceso mediante el cual se rescata el material de los desperdicios sólidos.

---

[9] L. Aponte (2011). *La planificación estratégica sostenible: Barrio San Salvador-Caguas* [tesis de maestría en Planificación Ambiental]. Escuela de Asuntos Ambientales. Universidad Metropolitana. San Juan. Puerto Rico. 122 pp.

[10] Ídem.

[11] FEMA. *Glosario*. https://www.fema.gov/about/glossary/u#:~:text=Underserved%20Populations%2FCommunities,or%20that%20are%20otherwise%20disenfranchised.

[12] "Memorando M-21-28 a los jefes de departamentos y agencias sobre las guías para implementar la iniciativa Justices40". https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/07/M-21-28.pdf. Véase también. https://www.whitehouse.gov/es/justicia-ambiental/justice40/

**Reducción** - Se refiere al resultado de la eliminación o cambios de diseño, manufactura, empaque, utilización y manejo de productos de forma que se disminuya su volumen y peligrosidad una vez terminada su vida útil.

**Relleno sanitario** – Instalación para la disposición de residuos sólidos que cumple con todos los requisitos establecidos por la Agencia federal de Protección Ambiental para su construcción (en inglés, *landfill*).

**Residuos sólidos** - En este plan significa la basura, escombros, artículos inservibles como neveras, estufas, calentadores, congeladores y artefactos residenciales y comerciales similares, cenizas, cieno o cualquier material desechado no peligroso, sólido, líquido, semisólido o de contenido gaseoso resultante de operaciones domésticas, industriales, comerciales, mineras, agrícolas o gubernamentales.

**Resiliencia** - Se refiere a la capacidad de un sistema humano o natural para resistir, asimilar y recuperarse de los efectos de las amenazas de manera oportuna y eficiente, manteniendo o restituyendo sus estructuras básicas, identidad y funciones esenciales.

**Resistencia** - Significa la capacidad de los sistemas naturales o sociales para persistir ante los efectos derivados del cambio climático.

**Servicios ecosistémicos** - Se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas; son esenciales para el bienestar humano.[13] Esto es particularmente cierto en ámbitos urbanos donde la productividad económica, la calidad de vida, la seguridad y la salud pública están ligadas al entorno natural de manera única y habitualmente poco apreciada, tanto dentro como fuera de los límites de una ciudad.[14]

**Soluciones basadas en la naturaleza** – Las soluciones basadas en la naturaleza son prácticas sostenibles de planificación, diseño, gestión ambiental e ingeniería que combinan características o procesos naturales en el entorno construido para promover la adaptación y la resiliencia. Estas soluciones utilizan características y procesos naturales para: combatir el cambio climático, reducir el riesgo de inundaciones, mejorar la calidad del agua, proteger la propiedad costera, restaurar y proteger los humerales, estabilizar las costas, reducir el calor urbano, añadir espacio recreativo y más.[15]

**Sostenible** – Que se puede sostener. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente.[16]

**Tipología edilicia** - Término utilizado para clasificar los diferentes tipos o modelos de edificios en la industria del diseño y la construcción. Ejemplos de tipologías edilicias incluyen, entre otros: vivienda, aeropuertos, supermercados, oficinas, escuelas, fábricas, iglesias, hospitales, funerarias, farmacias y gasolineras.

**Vectores** - Son organismos vivos que pueden transmitir patógenos infecciosos entre personas, o de animales a personas. Muchos de esos vectores son insectos hematófagos que ingieren los microorganismos patógenos junto con la sangre de un portador infectado (persona o animal) y posteriormente los transmiten a un nuevo portador, una vez replicado el patógeno. Con frecuencia, una vez que el vector ya es infeccioso, puede transmitir el patógeno el resto de su vida en cada picadura o ingestión de sangre posterior.[17]

**Vulnerabilidad** - Significa el nivel al que un sistema natural o humano es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad se manifiesta en función del carácter, la magnitud y la velocidad de la variación climática a que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y capacidad de adaptación.

---

[13] *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, D. C: World Resources Institute, citado en D. F. Avendaño-Leadem, B. C. Cedeño-Montoya y M. S. Arroyo-Zeledón (2020). "Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial". *Revista Geográfica de América Central*, (65), pp- 63-90. https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/12500

[14] A. Grêt-Regamey, E. Celio, T. Klein y U. Wissen, U. (2013). "*Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning". Landscape and Urban Planning, 109*, pp. 107-116, citado en D. F. Avendaño-Leadem, B. C. Cedeño-Montoya y M. S. Arroyo-Zeledón (2020). "Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial". *Revista Geográfica de América Central*, (65), pp- 63-90. https://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.3

[15] FEMA. Véase en https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/climate-resilience/nature-based-solutions.

[16] Definiciones de la Real Academia Española.

[17] Organización Mundial de la Salud (2020). Enfermedades transmitidas por vectores. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases

**Anejo 2**

# Descripción de procesos y actividades de participación y divulgación públicas llevadas a cabo

## Coordinación de trabajos, actividades y esfuerzos del comité de expertos y asesores sobre cambio climático[1]

1. Fecha: 12 de febrero de 2020
   **Evento:** Primera vista ejecutiva de la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en el Senado de Puerto Rico, con el senador Carlos J. Rodríguez Mateo y el senador Cirilo Tirado Rivera.
2. Fecha: 7 de marzo de 2020
   **Evento:** Segunda vista ejecutiva de la Comisión Conjunta sobre Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en el Senado de Puerto Rico, con agencias gubernamentales con deberes y responsabilidades en la Ley 33-2019.
3. Fecha: 22 de abril de 2020
   **Evento:** Charla virtual con los miembros del Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC) en conmemoración del Día del Planeta Tierra 2020.[2]
4. Fecha: 16 de mayo de 2020
   **Evento:** Charla virtual del Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral, miembro permanente del CEACC, sobre los recursos hídricos y el cambio climático.[3]




El Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral expuso información dirigida al público general que muestra la urgencia de conservar nuestros recursos hídricos en Puerto Rico. Asimismo, destacó la importancia de la preparación ante eventos relacionados con el cambio climático que afecten el recurso agua. Enfatizó que es vital hacer un uso responsable del recurso más preciado del ser humano, el agua.








Los miembros del CEACC ofrecieron una orientación sobre la importancia de conservar y preservar nuestro mayor recurso natural, el planeta Tierra. La dra. Maritza Barreto Orta, el Dr. Pablo A. Méndez Lázaro, el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y la Dra. Ada R. Monzón acentuaron la necesidad de educar sobre los efectos del cambio climático.





[1] Recopilación realizada por recursos del CEACC.
[2] https://www.drna.pr.gov/ceacc/videos/
[3] Ídem.




La Dra. Ada R. Monzón realizó un programa especial en WAPA TV con el propósito de concienciar sobre el cambio climático en Puerto Rico. Realizó múltiples entrevistas a expertos en el tema para proveer información certera sobre la realidad que vive Puerto Rico y la necesidad de buscar soluciones para el beneficio de las generaciones de puertorriqueños presentes y futuras.















5. Fecha: 30 de abril de 2021

   **Evento:** Reportaje especial de la Dra. Ada R. Monzón, miembro permanente del CEACC, sobre las manifestaciones del cambio climático en Puerto Rico.[4]

6. Fecha: 8 de octubre de 2021

   **Evento:** Divulgación de 103 cursos de acción para corregir, mitigar y prevenir los efectos del cambio climático en la Zona Costanera de Puerto Rico.

7. Fecha: 8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2021

   **Evento:** Participación de los miembros del CEACC en cuatro programas sobre el cambio climático transmitidos por WIPR, Canal 6.

8. Fecha: 25 de enero de 2022

   **Evento:** Participación en una vista pública virtual ante la comisión de Recursos Naturales, Asuntos Ambientales y Reciclaje de la Cámara de Representantes, en el Salón Audiencias 1.

9. Fecha: 17 de marzo de 2022

   **Evento:** Participación del CEACC en la reunión cumbre del Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico.

10. Fecha: 23 de marzo de 2022

    **Evento:** Conferencia de prensa del CEACC para presentar 57 cursos de acción en torno al recurso hídrico en Puerto Rico, en el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico (UPR), Río Piedras.[5]

11. Fecha: 30 de marzo de 2022

    **Evento:** Presentaciones del CEACC ante la comisión de Infraestructura, Innovación, Urbanismo y Telecomunicaciones del Senado de Puerto Rico sobre educación y empoderamiento ante los efectos del cambio climático.

[4] Ídem.

[5] https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/04/COAs-CEACC-Recurso-Agua.pdf





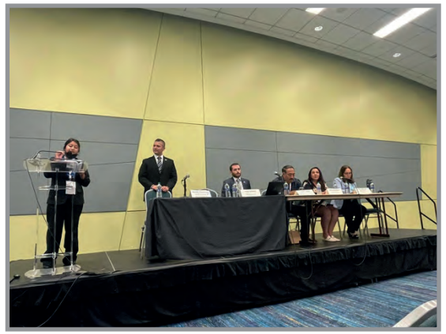












La Dra. Maritza Barreto Orta y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral, miembros del CEACC, participaron en una charla enfatizando en el llamado a mantener un balance entre el desarrollo y la conservación de las costas de Puerto Rico. Presentaron alternativas para un desarrollo sostenible que proteja nuestros ecosistemas terrestres y marinos.

12. Fecha: 29 y 30 de abril de 2022

    **Evento:** Celebración de vistas públicas sobre el Borrador del Bosquejo del Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático en Puerto Rico, en el edificio Cruz A. Matos del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).[6]

13. Fecha: 30 de mayo de 2022

    **Evento:** Divulgación del informe del oficial examinador, Lcdo. Jaime Villeta García, sobre las vistas públicas en torno al Borrador del Bosquejo del Plan.[7]

14. Fecha: 31 de mayo de 2022

    **Evento:** Taller sobre la Ley 33-2019 a personal de 18 agencias gubernamentales con responsabilidades y deberes establecidos por la ley, en la UPR, Recinto de Carolina.[8]

15. Fecha: 14 de julio de 2022

    **Evento:** Participación en el programa radial titulado *Las costas: entre el desarrollo y la conservación*, organizada por el Instituto Doctrina Social de la Iglesia de la Facultad de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico en Ponce.

16. Fecha: 28 de julio de 2022

    **Evento:** Participación del CEACC en el *2022 LULAC National Convention & Exposition Puerto Rico*. La Dra. Maritza Barreto Orta y la Dra. Ada R. Monzón formaron parte del panel sobre política pública.

17. Fecha: 4 de noviembre de 2022

    **Evento:** Participación en la actividad titulada *Foro hacia una nueva ley de costas,* organizada por la comisión de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de la Cámara de Representantes, en la Escuela de Medicina Tropical.

[6] Participantes: Departamento de Salud de Puerto Rico; Dr. Carlos A. Delgado Saldaña; Para la Naturaleza, Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico; Programa del Estuario de la Bahía de San Juan; Basura Cero Puerto Rico; 7Quillas Grupo Tortuguero de San Juan; *Migrant Clinicians Network*; El Puente Enlace Latino de Acción Climática; Fideicomiso para Ciencia, Tecnología e Investigación de Puerto Rico; *Climate Trace PR*; Fundación Surfrider Rincón; Sociedad Ambiente Marino; Centro Legal de Desarrollo de Resiliencia UPR; Ayuda Legal Puerto Rico; *New Jersey Coalition for Climate Justice*; Lcdo. Pedro Saadé Lloréns, y el Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico.

[7] https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2022/06/Informe-del-Oficial-Examinador-%E2%80%93-Vistas-Publicas-CEACC-Borrador-Bosquejo-del-Plan-de-Mitigacion-Adaptacion-y-Resiliencia-al-Cambio-Climatico-6-13-22.pdf

[8] https://www.drna.pr.gov/noticias/ceacc-realiza-taller-interagencial/















18. Fecha: 25 de enero de 2023

**Evento:** Reunión del componente educativo del CEACC con personal de agencias gubernamentales, en el edificio Cruz A. Matos del DRNA.[9]

19. Fecha: 26 de enero de 2023

**Evento:** Reunión del componente educativo del CEACC con representantes de organizaciones ambientales reconocidas, en el edificio Cruz A. Matos del DRNA.[10]

20. Fecha: 6 de febrero de 2023

**Evento:** Charla educativa a las comunidades de San Juan sobre el cambio climático, en la UPR-Recinto de Río Piedras. Recursos: Dr. Pablo A. Méndez Lázaro y la Dra. Maritza Barreto Orta.[11]

21. Fecha: 23 de febrero de 2023

**Evento:** Charla educativa a las comunidades de la región este sobre el cambio climático, en la UPR-Recinto de Humacao. Recursos: Dr. Rafael Méndez Tejeda y la Dra. Ada R. Monzón.[12]







[9] Participaron representantes del Departamento de Desarrollo Económico y Comercio, la Oficina de Gerencia de Permisos, el Negociado de Energía, la Junta de Planificación, Departamento de la Vivienda, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Departamento de Salud, Departamento de Educación, Compañía de Turismo de Puerto Rico, Departamento de Agricultura, Autoridad de Energía Eléctrica, Autoridad de Edificios Públicos, Autoridad de Puertos de Puerto Rico, Autoridad de Acueductos y Alcantarillados y el DRNA.

[10] Participaron el Estuario de la Bahía de San Juan, 7 Quillas Grupo Tortuguero San Juan, Sociedad Ambiente Marino, *Sea Grant* de Puerto Rico, Para La Naturaleza, *Scuba Dogs Society* y *Sierra Club de Puerto Rico.*

[11] Participaron 19 personas, representantes de NOAA y FEMA, la Compañía de Turismo de Puerto Rico, representantes del *Caribbean Center for Rising Seas*, catedráticos de la Universidad de Puerto Rico, recintos de Cayey y Río Piedras, representantes del sector social y estudiantes graduados y subgraduados.

[12] Participaron estudiantes subgraduados de la UPR - Recinto de Humacao, catedráticos universitarios y escuelas privadas (ej., *Palmas Academy* y Colegio Roque Díaz Tizol), para un total de 271 personas: 183 participantes presenciales y 88 por vía virtual.
















22. Fecha: 23 de febrero de 2023

    **Evento:** Reunión del componente educativo del CEACC con universidades privadas y públicas de Puerto Rico, en el edificio Cruz A. Matos, del DRNA.[13]

23. Fecha: 9 de marzo de 2023

    **Evento:** Grupo focal virtual con líderes académicos sobre la salud pública y el cambio climático, a través de la plataforma en línea de Zoom.[14]

24. Fecha: 10 de marzo de 2023

    **Evento:** Grupo focal virtual con líderes del sector de salud sobre la salud pública y el cambio climático, a través de la plataforma en línea de Zoom.[15]

25. Fecha: 14 de marzo de 2023

    **Evento:** Charla educativa a las comunidades de la región sur sobre el cambio climático, en la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico. Recursos: Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y el Dr. Rafael Méndez Tejeda.

26. Fecha: 24 de marzo de 2023

    **Evento:** Grupo focal virtual con líderes del Departamento de Salud sobre la salud pública y el cambio climático, a través de la plataforma en línea de Zoom. Para los grupos focales se establecieron guías que consistieron en 5 intervenciones dirigidas a (1) conocer los efectos del cambio climático en la salud pública; (2) identificar el conocimiento de estudios sobre el cambio climático y la salud pública en términos generales y para Puerto Rico; (3) conocer sobre colaboraciones relacionadas con el cambio climático y la salud; (4) identificar los mayores retos, oportunidades y brechas identificadas en el trabajo sobre el cambio climático y la salud pública, y (5) identificar cursos de acción recomendados, con ejemplos particulares y detallados.

[13] Participaron representantes de la UPR, Universidad Ana G. Méndez, Universidad Interamericana de Puerto Rico, *National University College*, *Dewey University* y el Negociado de Manejo de Emergencias y Administración de Desastres de Puerto Rico.

[14] Participaron el Dr. José Seguinot Barbosa (UPR, Recinto de Ciencias Médicas), Dra. Isabel Rivera Collazo (Universidad de California, San Diego), Dra. Ana P. Ortiz Martínez de Andino (UPR, Recinto de Ciencias Médicas) y la Dra. Carissa Cabán Alemán (práctica privada en psiquiatría).

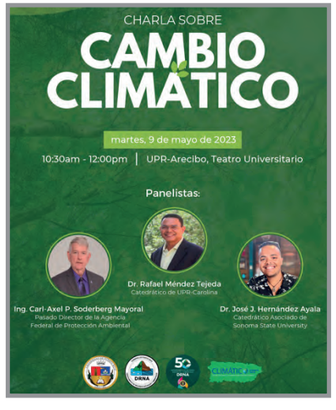
[15] Participaron representantes de las organizaciones Brigadas Salubristas, Taller Salud, *Puerto Rico Public Health Trust, Sociants* y la Corporación de Servicios de Salud Primaria y Desarrollo Socioeconómico El Otoao (COSSAO).















27. Fecha: 28 de marzo de 2023

    **Evento:** Reunión del componente educativo del CEACC con representantes de la empresa privada y el climatólogo del Estado, en el edificio Cruz A. Matos del DRNA.[16]

28. Fecha: 13 de abril de 2023

    **Evento:** Charla educativa a las comunidades del área oeste sobre el cambio climático, en la UPR - Recinto de Mayagüez. Participaron las miembros permanentes del CEACC, Dra. Maritza Barreto Orta y Dra. Ada R. Monzón.

29. Fecha: 28 de abril de 2023

    **Evento:** Participación en la Cumbre Ambiental 2023, auspiciada por el Colegio de Químicos de Puerto Rico en la *Caribbean University*, Recinto de Bayamón.[17] Participaron el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral, el Dr. Rafael Méndez Tejeda y la Dra. Keyla Soto Hidalgo.

30. Fecha: 6 de mayo de 2023

    **Evento:** Participación del Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral en el seminario titulado "El efecto del cambio climático en los recursos hídricos y el manejo eficiente del agua en hogares, empresas, industrias y municipios", celebrado en el Municipio de Moca.

31. Fecha: 9 de mayo de 2023

    **Evento:** Charla educativa sobre el cambio climático, en la UPR - Recinto de Arecibo. Participaron el Dr. Rafael Méndez Tejeda, Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y el Dr. José J. Hernández Ayala.

32. Fecha: 15 de agosto de 2023.

    **Evento:** Charla educativa en coordinación con One Stop Career Center (OSCC) of Puerto Rico con la comunidad de Jardines de Berwind en San Juan. Invitados: Comité de trabajo comunitario y residentes de la comunidad Jardines de Berwind y equipo de trabajo del programa de Planificación Integral de la Resiliencia Comunitaria (WCRP) de OSCC. Lugar: Centro Comunal del Condominio Jardines de Berwind, San Juan, Puerto Rico.

[16] Participaron representantes de entidades como Biosphera L3C, UNA-USA PR, Cámara de Mercadeo, Industria y Distribución Alimentos, Asociación de Constructores de Puerto Rico, Compañía de Turismo de Puerto Rico, Asociación de Restaurantes de Puerto Rico, Centro Unido de Detallistas, UPR-Recinto de Mayagüez y la Coalición de Reciclaje de Puerto Rico.

[17] Participaron el ing. Car-Axel P. Soderberg Mayoral, dra. Keyla T. Soto Hidalgo, arq. Fernando Abruña, dr. Rafael Méndez Tejeda y el dr. Neftalí García.








33. Fecha: 31 de agosto de 2023

    **Evento:** Charla educativa en coordinación con OSCC of Puerto Rico con las comunidades de San José, Villa Calma I, Villa Calma II, Ingenio y Villas del Sol en Toa Baja. Invitados: Miembros del comité de trabajo comunitario y residentes de las comunidad mencionadas. Equipo de trabajo del programa de WCRP de OSCC. Lugar: Centro de la Asociación de Comunidades Unidas Tomando Acción Solidaria (ACUTAS), Toa Baja, Puerto Rico. Participaron el Dr. Rafael Méndez Tejeda y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral.

34. Fecha: 15 de septiembre de 2023

    **Evento**: Charla educativa en coordinación con OSCC con la comunidad del barrio Peñuelas en Santa Isabel. Invitados: Miembros del comité de trabajo comunitario y residentes de la comunidad Peñuelas y equipo de trabajo del WCRP de OSCC. Lugar: Cancha bajo techo de la comunidad Peñuelas, Santa Isabel, Puerto Rico. Participaron la Dra. Maritza Barreto Orta y el Dr. Pablo Méndez Lázaro.

35. Fecha: 28 de septiembre de 2023

    **Evento**: Conferencia de prensa del CEACC para presentar el borrador del Plan MARCC de Puerto Rico en la UPR-Carolina.

36. Fecha: 29 de septiembre de 2023

    **Evento**: Entrevista radial al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y la Dra. Maritza Barreto sobre el borrador del Plan MARCC y el anunciado proceso de vistas públicas con la periodista Milly Méndez por Radio Isla, 1320 AM.

    **Evento**: Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el borrador del Plan MARCC y el proceso de vistas públicas con el periodista Luis José Moura por Radio Leo 1170 AM.

    **Evento**: Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el borrador del Plan MARCC y el proceso de vistas públicas por WAPA Radio 680 AM.

    **Evento**: Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y al Dr. Rafael Méndez Tejeda sobre el borrador del Plan MARCC y el proceso de vistas públicas, con la periodista Carmen Jovet por Notiuno 630 AM.

37. Fecha: 3 de octubre de 2023

    **Evento**: Entrevista radial al Dr. Rafael Méndez Tejeda y al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el borrador del Plan MARCC y el proceso de vistas públicas, con la periodista Delvis Griselle Ortiz, en WIAC 740 AM.

38. Fecha: 9 de octubre de 2023

    **Evento**: Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el borrador del Plan MARCC con la periodista Damaris Suárez por Radio Isla 1320 AM.














39. Fecha: 17 de octubre de 2023
    **Evento:** Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el Plan MARCC con la periodista Debra Feliciano Ledée por WALO Radio, 1240 AM.[18]
40. Fecha: 23 de octubre de 2023
    **Evento:** Entrevista al Dr. Rafael Méndez Tejeda con la Dra. Ada Monzón en Noticentro de WAPA-TV, canal 4.
41. Fecha: 24 de octubre de 2023
    **Evento:** Conferencia sobre el borrador del Plan MARCC en Puerto Rico a cargo de los miembros del CEACC con motivo Día Internacional del Cambio Climático.[19] En la UPR-Carolina.
    **Evento:** Participación del Dr. Rafael Méndez Tejeda en reportaje periodístico de *El Vocero*, "La ola de calor llegó para quedarse".[20]
42. Fecha: 30 de octubre de 2023
    **Evento:** Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el cambio climático y próximo inicio del proceso de vistas públicas con la periodista Carmen Jovet, en Notiuno 630 AM.
43. Fecha: 6 de noviembre de 2023
    **Evento**: Entrevista a la Dra. Maritza Barreto y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre comienzo de vistas públicas en Humacao, con la periodista Debra Feliciano Ledée por WALO Radio, 1240 AM.
44. Fecha: 8 de noviembre de 2023
    **Evento:** Divulgación de información sobre el comienzo de las vistas públicas en torno al borrador del Plan MARCC en Humacao. Periódico *El Oriental*,[21] región este.
    **Evento:** Conferencia del Dr. Pablo Méndez Lázaro en actividad sobre el cambio climático, coordinada por la Oficina de Ética Gubernamental.
45. Fecha: 10 de noviembre de 2023.
    **Evento:** Vista pública presencial sobre el borrador del Plan MARCC, en la UPR- Humacao.

[18] Véase en https://waloradio.com/convocan-a-vistas-publicas-sobre-cambio-climatico-en-humacao/.

[19] El evento contó con la presencia de reporteros de los canales 2, 4, 6 y 11. Véase reseña periodística en: https://www.elvocero.com/gobierno/agencias/v-deos-cient-ficos-aseguran-que-los-datos-para-hacerle-frente-al-cambio-clim-tico/article_1735f4e6-72a2-11ee-901a-a3f6bcd0d674.html

[20] Gracia C. (24 de octubre de 2023). "La ola de calor llegó para quedarse". *El Vocero*. https://issuu.com/vocero.com/docs/v10242023

[21] Véase en https://issuu.com/regionaldigital.com/docs/ed2334





46. Fecha: 13 de noviembre de 2023
    **Evento:** Entrevista radial al Dr. Rafael Méndez Tejeda y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral en Radio Católica de Ponce sobre el Plan MARCC y para invitar al público a participar en las vistas públicas sobre el borrador.
47. Fecha: 14 de noviembre de 2023
    **Evento:** Divulgación de información por parte del Dr. Pablo Méndez Lázaro, Dr. Rafael Méndez Tejeda y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre próximas vistas públicas en Ponce, con el profesor Israel Santiago, a través de Católica Radio.
48. Fecha: 15 de noviembre de 2023
    **Evento:** Entrevista a la Dra. Maritza Barreto Orta y el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el borrador del Plan MARCC y anuncio de vistas públicas en Ponce, con la periodista Vivien Mattei, por WPAB 550 AM, Ponce.[22]
49. Fecha: 17 de noviembre de 2023
    **Evento:** Vista pública presencial del borrador del Plan MARCC, en la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico, Recinto de Ponce.
50. Fecha: 20 de noviembre de 2023
    **Evento:** Participación del Dr. Rafael Méndez Tejeda en reunión con el Servicio Nacional de Meteorología en San Juan sobre informe histórico de lluvias y cambio climático.
51. Fecha: 30 de noviembre de 2023
    **Evento:** Participación del Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral en foro sobre infraestructura organizado por la Cámara de Comercio. El experto habló sobre el proceso de vistas públicas en torno al borrador del Plan MARCC.
52. Fecha: 1 de diciembre de 2023
    **Evento:** Vista pública presencial sobre el borrador del Plan MARCC, en la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.
53. Fecha: 2 de diciembre de 2023
    **Evento:** Participación del Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral en el programa de entrevistas Síntesis Noticiosa, con el periodista Miguel Díaz Román, sobre Puerto Rico ante el cambio climático.[24]
54. Fecha: 6 de diciembre de 2023
    **Evento:** Divulgación de información sobre el borrador del Plan MARCC y el proceso de vistas públicas, en el semanario Visión, región suroeste.[25]

**Evento:** Divulgación de información sobre el borrador del Plan MARCC y Puerto Rico ante el cambio climático, en El Vocero.[23]

[22] Disponible en: https://www.ivoox.com/arte-sacralizante-homenaje-a-lola-campechada-sangermena-audios-mp3_rf_119567551_1.html

[23] Acosta Vilanova, A. (1 de diciembre de 2023). "Urge hacer frente al cambio climático". *El Vocero* (edición especial 10mo. Aniversario). https://issuu.com/vocero.com/docs/v12012023

[24] Véase en: https://www.sintesisnoticiosa.com/informe-semanal-1-de-diciembre-de-2023/.

[25] Matos, S. (6 de diciembre de 2023). "Cambio climático: un reto creciente para las costas de Puerto Rico". Visión. https://periodicovision.com/cambio-climatico-un-reto-creciente-para-las-costas-de-puerto-rico/.








55. Fecha: 8 de diciembre de 2023
    **Evento:** Vista pública presencial y virtual sobre el borrador del Plan MARCC, en la UPR-Carolina.
56. Fecha: 9 de diciembre de 2023
    **Evento:** Vista pública virtual del borrador del Plan MARCC, en la UPR-Carolina.
57. Fecha: 14 de diciembre de 2023
    **Evento:** Entrevista radial al Dr. Rafael Méndez Tejeda con el Centro de Periodismo Investigativo.
58. Fecha: 24 de enero de 2024
    **Evento:** Conferencia del Dr. Rafael Méndez Tejeda en la actividad Educación Ambiental y Cambio Climático con la charla titulada: Cambio climático y su efecto en los centros reguladores del clima. La actividad fue coordinada por el Departamento de Educación (DE). Lugar: Sala de los Secretarios, en las oficinas centrales del DE.
59. Fecha: 24 y 25 de enero de 2024
    **Evento:** Entrevista al Dr. Pablo Méndez Lázaro sobre el cambio climático, con la comentarista Inés Quiles, por Radio Isla 1320 AM.
60. Fecha: 26 de enero de 2024
    **Evento:** Conferencia del Dr. Pablo Méndez Lázaro como parte de la actividad Fenómenos Climáticos Extremos, coordinada por el DE en Humacao.
61. Fecha: 7 de febrero de 2024
    **Evento:** Entrevista al Dr. Rafael Méndez Tejeda sobre el cambio climático y categoría de los huracanes, por El Vocero.
62. Fecha: 13 de febrero de 2024
    **Evento:** Entrevista al Dr. Pablo Méndez Lázaro sobre el cambio climático, con la comentarista Inés Quiles, por Radio Isla 1320 AM.
    **Evento:** Entrevista al Dr. Rafael Méndez Tejeda sobre el cambio climático, en WIAC 740 AM.
63. Fecha: 14 de febrero de 2024
    **Evento:** Entrevista al Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral sobre el cambio climático, con la periodista Milly Méndez por Radio Isla 1320 AM.
64. Fecha: 16 de febrero de 2024
    **Evento:** Reseña periodística Urge hacer buen uso del agua ante sequía, en El Vocero. Participan como entrevistados el Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y el Dr. Rafael Méndez Tejeda.[26]

[26] Cruz, A. (16 de febrero de 2024). Urge hacer buen uso del agua ante sequía. El Vocero. https://www.elvocero.com/actualidad/urge-hacer-buen-uso-del-agua-ante-sequ-a/article_5d89fd9a-cc50-11ee-ae35-fb2b4a9a6712.html.

65. Fecha: 20 de febrero de 2024

**Evento:** Entrevista al Dr. Rafael Méndez Tejeda sobre el cambio climático, por Telemundo Internacional.

66. Fecha: 23 de febrero de 2024

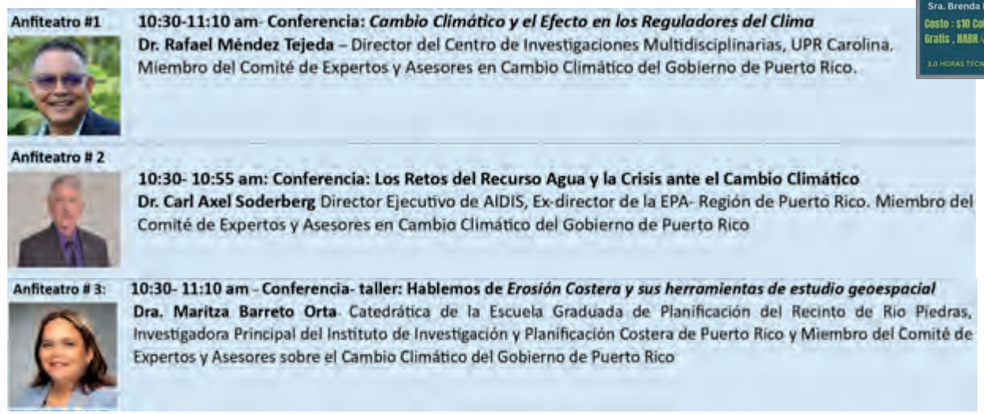
**Evento:** Primer Congreso de Educación Ambiental, Cambio Climático y Desarrollo Sostenible, organizado la Facultad de Educación de la UPR-Río Piedras. Participaron por el CEACC la Dra. Ada Monzón, Dra. Maritza Barreto, Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral y Dr. Rafael Méndez Tejeda. Asistieron 350 maestros de todos los niveles de las siete regiones del DE, escuelas Montessori, municipales y colegios.[27]

67. Fecha: 12 de marzo de 2024

**Evento:** Entrevista a la Dra. Ada Monzón sobre aumento en las temperaturas y sus efectos sobre Puerto Rico, en el programa Cuarto Poder, WAPA-TV, canal 4.

70. Participación en el Simposio de Reaseguro: Lecciones aprendidas y perspectivas para el 2024. El Ing. Carl-Axel P. Soderberg Mayoral presentó la conferencia El impacto del cambio climático sobre la infraestructura de Puerto Rico. En San Juan, Puerto Rico.




Alimentos, Asociación de Constructores de Puerto Rico, Compañía de Turismo de Puerto Rico, Asociación de Restaurantes de Puerto Rico, Centro Unido de Detallistas, UPR-Recinto de Mayagüez y la Coalición de Reciclaje de Puerto Rico.Participaron el Ing. Car-Axel P. Soderberg Mayoral, Dra. Keyla T. Soto Hidalgo, Arq. Fernando Abruña, Dr. Rafael Méndez Tejeda y el Dr. Neftalí García.

[27] Véase en: https://educacion.uprrp.edu/edu-digital/2024/02/27/congreso-de-educacion-ambiental-cambio-climatico-y-desarrollo-sostenible/

**Anejo 3**

# Guía para la revisión curricular e integración de temas desde K-12 para escuelas públicas y privadas

## Tema transversal: conciencia ambiental y ecológica

Temas generadores y sus indicadores

### 1. Cambio climático y sus manifestaciones en Puerto Rico

a. ¿Qué es el cambio climático y por qué ocurre?
b. Gases de efecto invernadero y sus emisiones.
c. Cambios en la temperatura atmosférica, fenómeno isla de calor, fuegos forestales.
d. Sistemas ciclónicos: huracanes, tormentas y frentes de frío.
e. Aumento del nivel del mar.
f. Acidificación de los océanos.
g. Altas temperaturas en el océano y sus efectos.
h. Calidad de aire (episodios del polvo de Sahara, hongos, esporas y polen).
i. Huella ecológica.
j. Justicia climática.
k. Valores, empatía y tolerancia ante el cambio climático.

### 2. Manejo de residuos de los residuos sólidos

a. Generación y manejo de los residuos y desperdicios.
b. Reúso, reducción y reciclaje.
c. Vida útil de los rellenos sanitarios.

### 3. Recursos hídricos

a. Consumo del recurso agua en Puerto Rico, ¿de dónde sacamos el agua y cuánto consumimos?
b. Aguas superficiales y escorrentías.
c. Acuíferos (localización, funcionamiento, recarga, contaminación e intrusión salina).
d. Períodos de sequía.
e. Efectos del cambio climático en el recurso agua a corto y largo plazo, medidas de mitigación.

### 4. Ecosistemas marinos, zonas costeras y áreas transicionales

a. Arrecifes de coral (localización, funcionamiento y fuentes de contaminación).
b. Estuarios, lagunas costaneras, praderas de Thalassia, hierbas marinas.
c. Zonas costeras (localización, funcionamiento, erosión costera, inundaciones costeras, deterioro de barreras y sus consecuencias).
d. Humedales (localización, tipos de humedales, funcionamiento y fuentes de contaminación).
e. Efectos del cambio climático en estos ecosistemas a corto y largo plazo, medidas de mitigación.

### 5. Ecosistemas terrestres

a. Bosques de Puerto Rico (tipos de bosques, localización, funcionamiento, fuentes de contaminación y deforestación).
b. Cuevas y cavernas.
c. Sumideros.
d. Efectos del cambio climático en los ecosistemas terrestres a corto y largo plazo y medidas de mitigación.

### 6. Agricultura

a. Nutrición.
b. Sostenibilidad de los sistemas alimentarios.
c. Inseguridad alimentaria - hambre cero.
d. Eficacia del uso de fertilizantes.
e. Uso de suelo y restauración de tierras degradadas.
f. Manejo de los residuos de los cultivos.

### 7. Salud

a. Salud infantil.
b. Cuidado prenatal, planificación familiar y mortalidad materna.
c. VIH / SIDA, malaria y enfermedades tropicales.
d. Prevención y el tratamiento del abuso de sustancias adictivas.
e. Servicios de salud esenciales de calidad y el acceso a medicamentos y cuidado médico.
f. Enfermedades causadas por el calor.
g. Enfermedades cardiovasculares.
h. Enfermedades respiratorias.
i. Enfermedades transmitidas por agua.
j. Enfermedades transmitidas por alimentos.
k. Enfermedades transmitidas por vectores.
l. Salud mental y estrés.
m. Vulnerabilidad:

    i. poblacional (adultos mayores, niñez y personas con bajos ingresos
    ii. sociodemográfica
    iii. ocupacional

iv. a base de ubicación
v. a base de racismo sistémico
vi. a base de género

n. Determinantes sociales de la salud.
o. Desigualdades en salud.

## 8. Energía

a. Fuentes energéticas renovables y no renovables.
b. Servicios energéticos asequibles, confiables y modernos.
c. Consumo energético en Puerto Rico y dependencia energética.

## 9. Transportación

a. Sistemas de transporte.
b. Congestión de tránsito.
c. Ruido.
d. Accidentabilidad.
e. Movilidad urbana sostenible.

## Anejo 4

# Perfil de acciones sostenibles

Esta guía sirve como un diagnóstico de la situación actual de la escuela, centro universitario, negocio, empresa, hospital, agencia. Esto permitirá dar seguimiento a las acciones.

Instrucciones: realice una marca al lado de cada indicador, según la acción ejercida actualmente en su área:

### Consumo responsable

___ Utilizan bolsas de plástico.
___ Utilizan bolsas de papel.
___ Uso mínimo de papel (campaña para utilizar correos electrónicos u otros medios de comunicación).
___ Utilizan artículos promocionales no amigables con el ambiente.
___ Realizan inventario de equipos y materiales anualmente.
___ Hacen donaciones de los equipos y materiales que no utilizan.
___ Realizan venta o entrega de alimentos en envolturas de plástico (comedores, cafetería).
___ Utilizan materiales desechables para alimentos, oficinas u otros usos.
___ Utilizan platos y vasos permanentes para ofrecer alimentos.
___ Utilizan libros de texto.
___ Realizan ferias de libros usados o uniformes.
___ Ofrecen orientación o talleres sobre el consumo de materiales que no sean de un solo uso.

### Residuos sólidos

___ Separan los residuos por envases identificados para reciclaje.
___ Separan los residuos para composta.
___ Se hace acopio de materiales peligrosos.
___ Realizan campañas educativas activas sobre reducir, reusar y reciclar.
___ Evalúan y reflexionan sobre los mayores residuos generados como parte de buscar medidas de mitigación y orientación al personal o estudiantado.

### Energía

___ Realizan campañas permanentes de concienciación sobre el gasto energético y cómo ahorrar.
___ Hacen cambios a focos solares o de menor consumo.
___ Siembran árboles que provean sombra.
___ Desconectan todos los aparatos eléctricos.
___ Usan calentadores solares y acondicionadores de aire de menor consumo energético.
___ Utilizan sensores de movimiento y paneles solares.

### Ahorro y cuidado del agua

___ Realizan campañas permanentes de concienciación sobre el manejo y cuidado del recurso agua.
___ No utilizan productos químicos de limpieza tóxicos para el ambiente.
___ Promueven el uso de botellas personales para agua y no la venta de botellas de plásticas.
___ Los productos de limpieza y desinfección que utilizan son aprobados como ecoamigables.
___ Utilizan líneas de menor cantidad de riego en áreas verdes.
___ Poseen cisterna de captación de agua pluvial.
___ Poseen sensores de movimiento para las llaves de agua e inodoros.

### Bienestar y salud

___ Realizan campañas de desayuno y almuerzo nutritivo y mínima generación de residuos.
___ Realizan actividades al aire libre.
___ Se fomentan actividades para la disminución del sedentarismo.
___ Promueven orientaciones sobre alimentación sana y ejercicio.
___ Realizan clínicas de salud sobre el cáncer, la diabetes, las enfermedades del corazón y la salud mental, entre otras.

### Cuidado de la naturaleza

___ Realizan campañas de limpieza de las áreas entre estudiantes y profesores, empleados, entre otros.
___ Realizan excursiones con enfoque hacia la conciencia ambiental.
___ Participan en actividades relacionadas con viveros, huertos comunitarios o compostas.
___ Promueven la compra de productos locales.

### Movilidad responsable

___ Se promueve el transporte escolar.
___ Se fomenta y existe la infraestructura para el uso de bicicletas.
___ Se promueve el uso del transporte público o tren urbano.
___ Se promueven actividades que incluyan caminatas.

## Justicia social y climática

___ Se realizan actividades de voluntariado.
___ Se conocen y valoran a las comunidades especiales.
___ Promueven campañas sobre los valores hacia los seres humanos, animales y recursos naturales.

## Participación ciudadana

___ Fomentan la conciencia de la importancia de participar activamente como comunidad.
___ Se promueve que la comunidad escolar, universitaria y los empleados lean, reflejen y se interesen en las actividades.
___ Se realizan actividades artísticas, culturales y ambientales.
___ Promueven una actitud respetuosa hacia todos los miembros de la comunidad.

## Valores de sustentabilidad

___ Se publica información a través de las redes oficiales, boletines o correos electrónicos sobre aspectos de educación ambiental y sustentabilidad aplicados a Puerto Rico.
___ Se toman en cuenta las fechas importantes que consideran el medioambiente para anunciarlos o realizar alguna actividad de conciencia.
___ Realizan actividades comunitarias de enfoque sustentable que involucre a los estudiantes y al personal, entre otros.
___ Se publica en diversos medios electrónicos o impresos información sobre la importancia de cuidar el ambiente con el personal.
___ Cuenta con una biblioteca virtual de publicaciones de educación ambiental para compartir la información con el público en general.

## Seguridad

___ Están informados constantemente sobre los protocolos para el simulacro de terremoto y desalojo.
___ Se realizan al menos 2 simulacros al año.
___ Se realizan prácticas sobre el contenido de mochilas de emergencias.
___ Se orienta a los estudiantes, personal o empleados sobre las medidas de preparación contra desastres naturales al año, incluyendo huracanes.
___ Poseen reserva de alimentos, agua, ropa y medicamentos en caso de una emergencia con su personal.

Anejo 5

# Guía de reforestación para Puerto Rico

Guía de Reforestación para Puerto Rico

## Introducción

A mediados del siglo XX, el Servicio Forestal de los Estados Unidos de Norteamérica (de ahora en adelante Servicio Forestal) ejecutó un plan de reforestación en las montañas de Luquillo (Marrero, 1948) y en los bosques estatales de la isla (Marrero, 1950).[1] El programa fue motivado por la expansión en el área de los bosques públicos y la necesidad de reforestar los terrenos adquiridos que estaban anteriormente bajo uso agrícola. La reforestación se llevó a cabo en un contexto de investigación y bajo el objetivo de convertir áreas deforestadas en bosques productivos desde el punto de vista de la producción de madera. Hoy, unos 75 años después, y a pesar de la expansión de la cobertura de bosques en Puerto Rico, es necesario establecer un programa de reforestación que atienda las necesidades del presente. Esta guía de reforestación se beneficia de las lecciones aprendidas en el pasado y por eso comenzamos examinando las experiencias y lecciones aprendidas durante la década de 1940. Con esa base de información es posible desarrollar un plan de reforestación más efectivo para el Puerto Rico del siglo XXI.

[1] La reforestación a gran escala en Puerto Rico comenzó en 1920-1922 en Maricao y Guánica, y siguió en 1934 en el Bosque Nacional del Caribe, donde para 1945 se habían sembrado 4,055,966 plántulas y 44,689 libras de semilla en Luquillo, así como 3,090,265 plántulas y 18,899 libras de semilla en Toro Negro.

## La Reforestación de los bosques públicos en la década del 1940

### La magnitud del proyecto

El Servicio Forestal invirtió durante 14 años más de $500,000 (sobre $8,355,000 en dólares de 2023) en la reforestación del Bosque Nacional del Caribe (hoy Bosque Nacional de El Yunque y de ahora en adelante Bosque Nacional). Reforestaron 3,926 acres (4,042 cuerdas). Luego, el Servicio Forestal emprendió otro proyecto de reforestación en los bosques públicos (estatales) de Puerto Rico, y cubrió 16,000 acres (16,474 cuerdas). Entre los dos proyectos de reforestación utilizaron 54 especies de árboles (30 nativas y 26 no nativas), 20,189,762 plántulas y 154,818 libras de semilla (apéndice 1). La importancia de estos dos proyectos para el programa de reforestación del siglo XXI incluye:

- Es la reforestación más grande hasta el momento en el Caribe.
- Se llevó a cabo científicamente documentando aciertos, desaciertos y costos.
- Incluyó una porción importante de la diversidad de condiciones de clima, suelos y topografía en Puerto Rico.
- Utilizaron un número importante de especies, tanto nativas como no nativas.
- Documentaron el crecimiento por especie y las condiciones en las que crecían.
- Incluyeron el costo de replantar para asegurar el éxito de la reforestación.
- Gran parte de la información recopilada es aplicable en el siglo XXI, incluyendo lecciones aprendidas que se discuten luego en este informe.

Cuando el Servicio Forestal condujo la reforestación de los bosques públicos de Puerto Rico, la situación social y ecológica era distinta a la de hoy. Puerto Rico era una isla rural en pleno proceso de abandono de terrenos agrícolas, los cuales estaban degradados por usos intensivos a través de muchas décadas. La selección de especies obedecía al objetivo de restaurar los suelos con aquellas cuya madera fuese de utilidad comercial. La mano de obra era diestra en el manejo de implementos agrícolas necesarios para cultivar plántulas, coleccionar semillas, sembrar árboles, preparar terrenos para la siembra y desyerbar las plantaciones. El conocimiento técnico necesario para asegurar una reforestación efectiva no existía para el neotrópico y se desarrolló con estos proyectos.

### Costos[2]

Los costos basados en hombres hora y corregidos por inflación representan una guía para el siglo XXI, cuando los objetivos de la reforestación y la selección de especies son más amplios. Es notable que el costo de reforestación de un acre se duplica al tener que replantar áreas con alta mortandad de árboles y tener que mantener la siembra por cinco años. La causa del aumento en costos es el desyerbe, que cuesta tanto como la siembra de plántulas (tabla 1).

Los costos de reforestación varían de acuerdo con la diversidad de condiciones bajo las cuales se plantan y replantan los árboles (tabla 2). Las zonas secas y de manglares son menos costosas para reforestar que las zonas del karso o las zonas montañosas lluviosas, que son las más caras para reforestar. El costo está asociado con el problema de controlar la vegetación que compite con los árboles sembrados.

[2] No incluyen gastos generales fijos.

| Unidad forestal | Plantío inicial | Costo cumulativo* ($ 2023) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Plantío inicial más replantación | Desyerbe | Total |
| *Luquillo* | $492.28 | $587.52 | $541.40 | $1,128.93 |
| *Toro Negro* | $374.30 | $551.60 | $537.73 | $1,089.32 |
| *Todo el bosque* | $453.18 | $575.66 | $540.23 | $1,115.89 |

* A cinco años.

*Tabla 1.* Costo por acre ajustado a dólares de 2023 para la reforestación de tierras abandonadas en el Bosque Nacional del Caribe (Marrero, 1948). Un acre es igual a 1.0296308078 cuerdas.

## Épocas de siembra

Saber cuándo sembrar determina el éxito de una reforestación. Los costos de una reforestación aumentan si la siembra coincide con una sequía y si es necesario regar los árboles. Las recomendaciones en la tabla 2 deben validarse para lugares específicos tomando en consideración los patrones climáticos del presente.

| Materiales | |
|---|---|
| *Plantas de vivero $3.00 por mil árboles* | |
| *Plantas en tiestos $8.00 por mil árboles* | |
| *Plántulas silvestres $4.50 por mil árboles* | |
| *Semilla de $0.30 a $1.80 por mil semillas* | |
| **Actividades** | **$** |
| *Preparación del terreno promedio:* 13 hombres-días por acre | 988.00 |
| *Preparación del terreno costo menor:* 6 hombres-días por acre | 456.00 |
| *La siembra promedio:* 10 hombres-días por acre | 760.00 |
| *Siembra directa de semillas:* 3 hombres-días por acre | 228.00 |
| *Replantación:* 15 hombres-días por acre | 1,140.00 |
| *Replantación en Guajataca y Río Abajo:* 5 hombres-días por acre | 380.00 |
| *Replantación en Susúa y Mona:* 6 hombres-día por acre | 456.00 |
| *5 años de desyerbe en zonas montañosas húmedas:* 42 hombres-día por acre | 3,192.00 |
| *5 años de desyerbe en el karso:* 16 hombres-día por acre | 1,216.00 |
| *5 años de desyerbe en zonas secas:* 7 hombres-día por acre | 532.00 |
| *Costo total por cinco años en las montañas húmedas:* 77 hombres-día por acre | 5,852.00 |
| *Costo total por cinco años en la zona del karso:* 38 hombres-día por acre | 2,888.00 |
| *Costo total por cinco años en zonas secas:* 34 hombres-días por acre | 2,584.00 |
| *Reforestar manglares:* 3 a 8 hombres-días por acre | 228.00 a 608.00 |
| *Remoción de Achrostichum:* 20 hombres-días por acre | 1,520.00 |

*Tabla 2.* Costos de reforestación de los bosques estatales en la década de 1940 de acuerdo con Marrero (1950). Los datos originales están en la primera columna y se actualizaron corrigiendo por inflación en las columnas a la derecha. Los dólares por acre son a base de 8 horas de trabajo por día y salario de $9.50 por hora. Un acre es igual a 1.0296308078 cuerdas.

| Lugar | Meses de Siembra | Observaciones |
|---|---|---|
| Carite | Temprano en mayo y tarde en noviembre. | A elevaciones bajas como Patillas, la siembra debe descontinuarse a mediados de noviembre. |
| Guajataca | Temprano en mayo y tarde en octubre. | |
| Guánica | De mediados de agosto a mediados de octubre. | Mayo es un mes húmedo en la costa sur, pero es seguido por sequía, por lo que la siembra debe posponerse hasta agosto. |
| Guilarte | Temprano en marzo a tarde en noviembre. | |
| Manglares | Todo el año. | Dependiendo de la disponibilidad de material vegetativo. |
| Maricao | Mediano abril a tarde en octubre. | |
| Isla de Mona | Temprano en septiembre a tarde en octubre. | |
| Río Abajo | Mediados de abril a tarde en noviembre. | |
| Susúa | Temprano en agosto a tarde en octubre. | Mayo es un mes húmedo en la costa sur, pero es seguido por sequía, por lo que la siembra debe posponerse hasta agosto. |
| Luquillo/ Toro Negro | Época lluviosa de verano y otoño. | Cortos períodos sin lluvia (dos semanas) pueden secar el suelo superior (*top soil*) y ser catastróficos para la siembra, a pesar de que la lluvia llegue al promedio. En Toro Negro este fenómeno es menos notable. |

*Tabla 3.* Meses o épocas de siembra recomendadas por Marrero (1948, 1950) para distintos lugares de Puerto Rico. Ante la posibilidad de cambios en el clima o ante la variabilidad del clima, estas recomendaciones no son absolutas y deben validarse.

| *Porcentajes de sobrevivencia* | | |
|---|---|---|
| *Alta: 50 – 100* | *Media: 25 – 50* | *Baja: 0 – 25* |
| Ausubo | *Albizzia lebbeck* | Algarrobo |
| Capá Blanco | Fresno de Hawái | Casuarina |
| *Eucalyptus resinífera* | Caoba hondureña | Ceiba |
| *Eucalyptus robusta* | Capá prieto | Dalberhia |
| Guaraguao | Cassia de siam | Caoba dominicana |
| Guayabota* | Higuerillo | *Eucalyptus citriodora* |
| Jácana* | Pomarrosa | Maricao |
| Maga | | Moca |
| María* | | Cedro (*C. mexicana*) |
| Nuez moscada* | | Tabonuco |
| Pomarrosa* | | Teca |
| Roble | | Tortugo amarillo |

*Siembra de semillas.

*Tabla 4.* Sobrevivencia de distintas especies utilizadas para la reforestación en Puerto Rico (Marrero, 1948).

### Sobrevivencia de especies plantadas

La tabla 4 presenta una idea de las expectativas de sobrevivencia de distintas especies clasificadas de acuerdo con el porcentaje de plántulas o semillas plantadas que sobreviven. Se presentan tres categorías: las de alta, media y baja sobrevivencia. Estos datos aplican solamente al experimento en el Bosque Nacional (Marrero, 1948).

### Especies recomendadas y no recomendadas para la reforestación

Los apéndices 2-5 contienen los resultados de la adaptabilidad de especies arbóreas a las condiciones donde el Servicio Forestal reforestó en la década de 1940 (Marrero, 1948, 1950) para el Bosque Nacional, las montañas centrales y del este, la región de las calizas (el karso húmedo y seco) y la región de serpentina (suelos ultramáficos) de Puerto Rico (respectivamente). Los resultados clasifican el comportamiento de cada especie en una de tres categorías: prometedoras, dudosas y sin éxito. Citando a Marrero (1948, p. 202):

> Las especies enumeradas como "prometedoras" parecen adaptarse a la plantación en el sitio en cuestión y aparentemente rendirán los mejores productos posibles de ese sitio. Las especies catalogadas como "dudosas" muestran menor capacidad para formar las plantaciones deseables ya sea porque su adaptación está en duda o porque tengan mala forma, crecimiento más lento o rinden productos inferiores a otras especies más prometedoras. Las especies catalogadas como "sin éxito" no sobrevivieron después de extensivas pruebas ya sea porque no se adaptan al sitio o son susceptibles a los ataques de insectos, enfermedades o ratones o si han sobrevivido ha sido produciendo árboles de tan mala forma o cualidad que es de esperarse rindan solo leña.

La información en esos apéndices y en la literatura relacionada sirve de guía en la selección de especies para la reforestación en Puerto Rico. No se incluye en los apéndices la experiencia con la reforestación en manglares. La reforestación de manglares no es recomendable en zonas arenosas hacia la playa en lagunas costeras. Sin embargo, en suelos lodosos hacia tierra adentro, donde llegan sedimentos terrestres, el mangle blanco fue prometedor y el mangle rojo fue prometedor cuando el agua es más profunda. El mangle negro resultó dudoso.

### Lecciones aprendidas

La lección más importante y relevante para la reducción de costos de reforestación y, al mismo tiempo, el aumento de la efectividad del proceso fue la siguiente (p 205):

> La lección sobresaliente no trata tanto de los detalles de los tratamientos que fracasaron o que tuvieron éxito sino más bien la importante lección que la Naturaleza en los trópicos es muy compleja y que cualquier plan para reglamentarla debe efectuarse en pequeña escala experimental por algún tiempo antes de adentrarse en un programa a gran escala. En este caso la preponderancia de la Naturaleza aparece señalada por un gran número de árboles seleccionados por *ella* y no por *nosotros* y que hemos tenido que aceptar como parte de las plantaciones actuales (énfasis de Marrero).

Esta lección es un reconocimiento de la complejidad de la reforestación y la importancia de la ciencia y la ecología para apoyar las acciones dasonómicas o forestales. Con esta lección, Marrero, que comenzó sus estudios utilizando el método de prueba y error, termina utilizando métodos y conocimiento científicos para minimizar costos y evitar fracasos en las siembras de árboles. Estudios posteriores han cimentado este punto de vista enfatizando la historia natural de las especies y sus adaptaciones a condiciones particulares del ambiente (Francis y Liogier, 1991; ,Francis, 1995; McCormick, 1995; Francis y Lowe, 2000; Lugo y Zimmerman, 2002).

Las siguientes sugerencias y lecciones adicionales reportadas por Marrero (1948, 1950) son relevantes para el plan de reforestación del siglo XXI. La lista no se presenta en orden de importancia ya que, bajo condiciones particulares, cualquier sugerencia o lección puede ser determinante.

- Plántulas entre 12 y 24 pulgadas de alto se consideran óptimas para la siembra, sin embargo distintas especies difieren en este aspecto y Marrero reporta estas diferencias.
- Es innecesario remover toda la vegetación de los lugares a reforestarse. Tales remociones aumentan el costo de las operaciones sin beneficio a la reforestación.
- A cada árbol sembrado se le establece una corona de 2 a 3 pies de diámetro donde se remueve la vegetación herbácea incluyendo los bejucos.
- Un espaciamiento de 6 × 6 pies u 8 × 8 pies es recomendable para plantaciones.
- El desyerbe y corte de bejucos se debe hacer anualmente (a veces cada tres meses) hasta que los árboles superen la vegetación herbácea (en ocasiones hasta 11 años).

- En lugares degradados es recomendable usar las especies con mayor crecimiento bajo esas condiciones.
- Los fracasos de las siembras incluyen: baja sobrevivencia de la especies, competencia intensa de vegetación herbácea, falta de información sobre la adaptabilidad de las especies y la complejidad ecológica que influye en el resultado de la actividad, y el uso de personal sin experiencia.
- Brigadas pequeñas con personal experimentado mejoran significativamente la efectividad de la reforestación.
- La siembra de especies nativas de sucesión tardía en suelos degradados es una causa mayor del fracaso de la plantación. Esto es contrario a la ecología, que demanda especies de sucesión temprana para estos sitios.
- Los sitios para reforestarse deben ser clasificados incluyendo sus condiciones climáticas, edáficas y topográficas. Las topográficas deben incluir si la superficie es cóncava o convexa, ya que esto es determinante para el crecimiento de las especies.
- Factores fisiográficos como la pendiente, aspecto, exposición y posición topográfica se consideran por separado, pues sus efectos son más sutiles que el clima, el suelo o la topografía.
- La clasificación de los sitios es parte de un estudio de sitio que debe llevarse a cabo antes de comenzar el trabajo de campo. Tal estudio es crítico para planificación efectiva del trabajo de reforestación.
- Reconocieron seis técnicas de plantación que varían con el sitio y las especies a sembrarse, e incluyen: tipo de material vegetativo a utilizarse, espaciamiento, combinación de especies, desyerbe y remoción de bejucos, poda y liberación.
- Especies con semillas grandes se pueden sembrar directamente. En estos casos se observa generalmente una alta sobrevivencia.
- La poda es cara y de dudable efectividad, por lo que requiere análisis y buena justificación antes de aplicarse. El comején es efectivo removiendo ramas muertas.
- La regeneración natural es una alternativa viable a la siembra y antes de descartarla debe haber seguridad de que se puede establecer un bosque superior al que se regenera naturalmente.
- Antes de plantar, se deben identificar los árboles presentes que puedan ser incorporados al programa de reforestación.
- Solamente sembrar especies prometedoras.
- Resembrar tan pronto se observen mortandades, preferiblemente el mismo año.
- Se deben utilizar brinzales silvestres siempre que estén disponibles.
- Es imperativo continuar la investigación en apoyo a la reforestación y conservación de los bosques.
- Se siembra lo que se puede mantener.

## Contexto social-ecológico del siglo XXI

Para que un plan de reforestación para el Puerto Rico del presente sea efectivo, es necesario ubicarlo en el contexto social-ecológico de la isla, a la vez que se establecen objetivos claros para la actividad y un orden lógico de actividades para lograr los objetivos. La experiencia adquirida en la década de 1940 sirve de base para el plan de 2023.

Puerto Rico tiene una cobertura forestal de aproximadamente 60 %. La cobertura urbana es de aproximadamente 20 % (incluyendo 11 % impermeable), y el restante porcentaje de 20 % representa la cobertura agrícola. Esta distribución de la cobertura del país augura un conflicto entre la cobertura de bosques y la agricultura, si se decide que el país produzca más alimento del que produce ahora (Lugo, 2014). Por ejemplo, si asumimos que la cobertura agrícola debe aumentarse a 30 %, entonces la de bosques no urbanos debe reducirse a 50 %. Un programa de reforestación debe tomar en cuenta la redistribución futura del espacio isleño entre los tres usos principales. Una aproximación inicial se puede obtener del Plan de Uso de Terrenos (PUT, adoptado por la Junta de Planificación el 19 de noviembre de 2015).

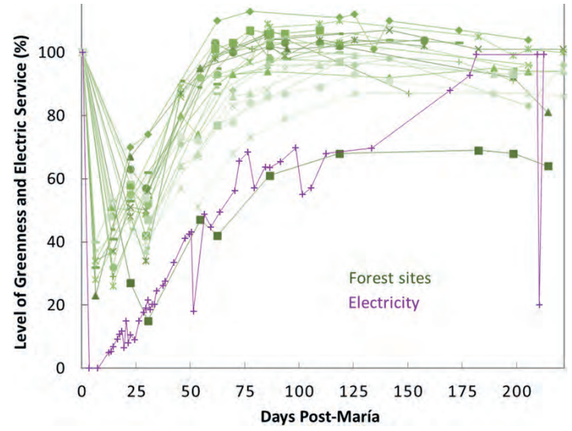



*Figura 1.* Comparación del retorno de la verdura de los bosques de Puerto Rico con el retorno de la electricidad a los hogares. Cien días después del huracán María, casi todos los bosques habían retornado a 100 % de verdor, mientras que el servicio eléctrico estaba en 60 % (Lugo, 2019). Cuando el servicio eléctrico llegó a 100 %, volvió a colapsar.

## Los Bosques antes y después del huracán María y las áreas por reforestar

Sin ayuda del ser humano, las especies arbóreas de los bosques de Puerto Rico se dispersan ampliamente, crecen con rapidez y se autoorganizan formando comunidades arbóreas adaptadas a las condiciones ambientales de la isla, incluyendo los huracanes. Antes del huracán María, Puerto Rico tenía 1,400 millones de árboles vivos organizados en comunidades altamente productivas con una producción neta de 193 millones de pies cúbicos de madera entre 2009 y 2014 (apéndice 6). La mortalidad anual de árboles en estos bosques es normalmente baja (entre 0.3 y 0.7 % para árboles mayores a una y cinco pulgadas de diámetro, respectivamente).

Después del huracán María, la cobertura arbórea bajó en 5 % (+ 3 %) y se registraron 144 millones de árboles muertos, lo que equivale a una mortalidad instantánea de 10 %. El porcentaje de mortalidad varió espacialmente, siendo menor en los bosques secos (4 %) y mayor en los bosques húmedos (12 %) y los muy húmedos y lluviosos (15.5 %), donde predominan árboles altos que siempre son más vul-

nerables a los efectos del viento. Tan pronto pasó el huracán, la regeneración y el crecimiento de los árboles se aceleraron, lo que llevó al retorno de la verdura de la isla (figura 1). Luego se cerraron los doseles de los bosques, lo que favoreció la regeneración de especies arbóreas nativas. La regeneración de especies arbóreas se aceleró después del huracán, por lo que la mortalidad de los árboles es parte del proceso de rejuvenecimiento del bosque y se compensa con los aumentos en su productividad y cambios en la composición de sus especies.

Entre 2004 y 2009, la regeneración de los bosques de Puerto Rico fue de 30 millones de árboles por año (Marcano Vega, 2019). Esa tasa de regeneración equivale a 2.3 % por año. A ese paso y sin la aceleración asociada al paso del huracán, les tomaría a los bosques 4.8 años compensar por la mortalidad ocasionada por el huracán María. La resiliencia de los bosques de Puerto Rico ante huracanes es incuestionable. Esto permitió que el programa de reforestación se enfocara en los lugares donde no hubo regeneración de los bosques o en lugares críticos donde es deseable acelerar la regeneración arbórea o donde es deseable enriquecer la composición de especies de las comunidades arbóreas.

Los lugares prioritarios para la reforestación incluyen:

- Las cuencas hidrográficas de los embalses.
- Suelos expuestos por los derrumbes de tierra (se registraron 100,000 derrumbes con el paso del huracán María; Bessette-Kirton *et al.,* 2019).
- Áreas urbanas.
- Restauración de dunas de arena o áreas costeras expuestas a incursiones del mar.
- Áreas de interfaz entre la ciudad y el campo.
- Rodales empobrecidos por los huracanes.
- Lugares especialmente valiosos, ya sea por razones sociales o ecológicas.

## Áreas urbanas

Sobre 90 % de los puertorriqueños viven en áreas urbanas. Es imperativo manejar el entorno urbano para el beneficio de los que viven allí. Lamentablemente, en Puerto Rico se le presta muy poca atención a la vegetación que crece en los espacios públicos, particularmente a los árboles. El mayor esfuerzo oficial con los árboles es removerlos cuando crean problemas en la ciudad y depositarlos en los vertederos. Una excepción notable es el municipio de Caguas, que se ha certificado como una ciudad arbórea (*tree city USA*) bajo el programa del Arbor Day Foundation (https://www.arborday.org). En lo que representa un modelo para otros municipios, Caguas cuenta con cinco agrónomos dedicados al programa de ornato y embellecimiento. Este departamento cuenta con cuatro unidades, incluyendo mantenimiento de área verdes, contratos y estándares, áreas deportivas y recreacionales, y manejo de los árboles de la ciudad. Durante los 15 años del programa han desarrollado una guía de siembra urbana disponible para todos los ciudadanos de Caguas y cuentan con su propio vivero y con brigadas especializadas en el manejo de la vegetación de la ciudad. La *Guía de reforestación para Puerto Rico* incluye las zonas urbanas y se beneficia de la experiencia del municipio de Caguas.

Aún más importante para la reforestación urbana es la Ley 213 de Bosques Urbanos de 1998. Esta ley crea el Fondo de Forestación Municipal. Además, crea la clasificación de profesional de siembra, que una vez certificado está en posición de contribuir a la siembra de árboles y vegetación en las áreas urbanas.

## Objetivos de la reforestación

Los objetivos de un plan de reforestación para un Puerto Rico ante el Cambio Climático incluirían:

- Asegurar una cobertura de bosques resilientes ante la incertidumbre del futuro.
- Asegurar una multiplicidad de servicios ecosistémicos de esos bosques, incluyendo agua y aire libres de contaminación, la conservación de la biodiversidad, la protección contra eventos extremos y la reducción de la sedimentación de los almacenajes de agua.
- Enfriar las regiones urbanas y amortiguar la hidrología de la ciudad reduciendo la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos (olas de calor, inundaciones, etc.).
- Incluir bosques productivos que provean una variedad de productos forestales tradicionales, alimento para las aves y la población, hongos, apicultura y otros valores que estimulan la actividad económica y la conservación (tabla 5).
- Almacenar carbono atmosférico y otros contaminantes.

| |
|---|
| • Maderas ornamentales que tienen valores que se multiplican por cien al trabajarse. |
| • Restauración de la industria de los muebles. |
| • El aserrín es un producto secundario utilizado en los establos de caballos. |
| • Empleo para miles en los campos. |
| • Reemplazo de importaciones de madera. |
| • Sustentabilidad en la producción y regeneración forestal. |
| • Incentivo para retener la cobertura forestal. |
| • Permanencia utilizando servidumbres de conservación. |

*Tabla 5.* Valores tradicionales asociados a los bosques húmedos de Puerto Rico (Wadsworth, 2014).

## Retos

Un plan de reforestación requiere un sector forestal vigoroso y efectivo que incluya no solamente el componente gubernamental a nivel estatal y municipal, sino también un sector privado y comunitario, con el trabajo de todos coordinado y en armonía con objetivos comunes. Tal nivel de esfuerzo se enfrenta a una serie de retos que hay que sobreponer para lograr el éxito:

- Necesitamos decidir las proporciones de la cobertura forestal, usos agrícolas y usos urbanos que queremos como meta.
- No tenemos un sector forestal efectivo en Puerto Rico.
- No tenemos acuerdo sobre qué especies sembrar. La experiencia con la reforestación utilizando especies nativas

no fue la mejor en el siglo pasado (Marrero Torrado y Wadsworth 2015).
- No tenemos suficiente capacidad de producción del material vegetativo requerido para la reforestación.
- No hemos documentado las lecciones aprendidas con los esfuerzos de reforestación durante este siglo.
- El programa de reforestación debe atender una isla con condiciones ambientales y sociales muy diversas y complejas. Por ejemplo, los incendios forestales son un problema reciente para la conservación de los bosques de Puerto Rico (apéndice 7).

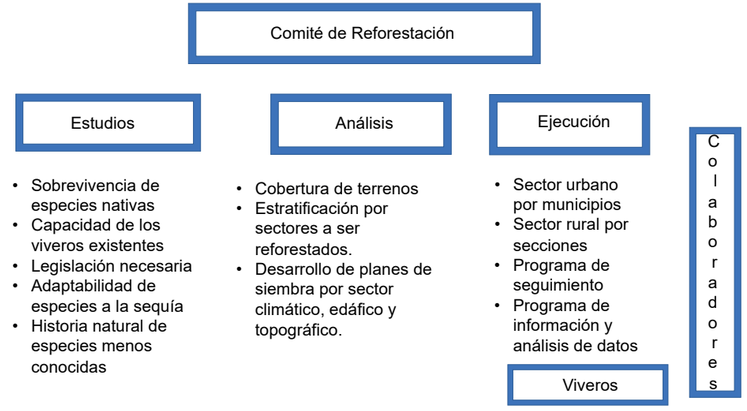
A favor del programa de reforestación, tenemos:

- Información adecuada para desarrollar y ejecutar un plan de reforestación basado en las experiencias exitosas del siglo XX, cuando en Puerto Rico la cobertura forestal era muy baja (ej., Gilormini, 1949; Liegel y Venator, 1987; Francis y Lowe, 2000; Ruiz, 2002; Santiago Valentín *et al.,* 2019).
- Toda la organización gubernamental asociada con la reforestación de zonas urbanas, incluyendo los planes de ordenamiento territorial de los municipios, el Consejo Asesor de Forestación Urbana y Comunidades de Puerto Rico (CAFUC), el establecimiento del oficio de arboricultor en Puerto Rico, el manual de forestación urbana para Puerto Rico e Islas Vírgenes del Servicio Forestal, las guías de árboles nativos para prácticas de conservación y el plan de acción forestal para Puerto Rico (Puerto Rico *Forest Action Plan*-2021), que elaboró el sector forestal del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).
- Entre los objetivos principales del Plan de Acción Forestal-2021 están la conservación y manejo de los paisajes forestales, proteger los árboles de amenazas y aumentar los beneficios públicos de árboles y bosques.

Todos los elementos necesarios para implantar un plan de reforestación para Puerto Rico están presentes en la isla, aunque de forma aislada y operando a niveles bajos de capacidad y extensión. Esto incluye el talento humano, organizaciones privadas, viveros con diversidad de ofrecimientos y capacidades, y ejemplos de experiencias exitosas en distintos entornos ecológicos.

## Actividades necesarias

- Establecer un comité de reforestación que guíe el programa de reforestación (figura 2).
- Identificar las áreas de Puerto Rico sin cobertura de bosques y cuáles de esas áreas son suelos agrícolas y, por lo tanto, fuera del plan de reforestación.
- Planificar y reforestar las zonas urbanas por separado en colaboración con los municipios.
- Establecer la capacidad existente de los viveros estatales, municipales y privados para verificar si el nivel de reforestación deseado puede sostenerse con la capacidad existente o si necesita más capacidad de producción de material vegetativo.
- Averiguar el éxito logrado por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales con el uso de especies nativas en sus programas de reforestación. La reforestación no puede realizarse a base de la hipótesis sin comprobar que las especies nativas son superiores a las no nativas para la reforestación.
- Estratificar las áreas a reforestarse a base de sus climas, suelos y elevación, entendiendo que cada sector resultante amerita estrategias distintas relativas a las especies a utilizarse, cuándo y cómo se siembran y el cuido postsiembra.
- Reorganizar el sector forestal de Puerto Rico alrededor del plan de reforestación, de suerte que se integren todos los sectores (gubernamentales y privados) al programa. El éxito del plan de reforestación no puede depender solamente del DRNA.
- Asegurar la documentación de las experiencias y la investigación forestal en apoyo a la reforestación y conservación de los bosques.




- Implantar las recomendaciones del Plan de Acción Forestal para Puerto Rico del 2021,[3] particularmente las recomendaciones sobre los incendios forestales.
- Investigar la adaptabilidad de las especies arbóreas a sequías y altas temperaturas.
- Estudiar la historia natural de especies arbóreas a utilizarse para la reforestación, pero que en el presente son poco conocidas científicamente.

## Organizaciones clave

Las organizaciones con capacidad técnica o con infraestructura crítica para el programa de reforestación serían:[4]

- DRNA*.
- Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (programa de *State, Private, and Tribal Forestry*, la biblioteca y el programa de *Research and Development*).

[3] Véase en: https://www.drna.pr.gov/documentos/planes-de-manejo/puerto-rico-forest-action-plan-2021/#:~:text=11%20Feb%20Puerto%20Rico%20FOREST%20ACTION%20PLAN%2C%202021&text=Dichas%20prioridades%20están%20relacionadas%20con,Servicio%20Forestal%20Federal%20

[4] El asterisco indica que administran viveros.

- Colegio de Agricultura del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico (UPR).
- Estación Experimental Agrícola en Río Piedras y otras estaciones de la isla.
- Centro para la Conservación del Paisaje.
- Para la Naturaleza* (Programa de Viveros).
- Protectores de Cuencas*.
- Recinto de Aguadilla de la UPR (revegetación de dunas).
- Recinto de Río Piedras de la UPR (vegetación urbana).
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico*.
- Cafiesencia Puerto Rico.
- Distritos de Conservación de Suelos.
- Municipio de Caguas* (programa *Tree City*).
- El proyecto Génesis de la Universidad del Sagrado Corazón.

Otras organizaciones importantes para la implantación del programa incluyen:

- Municipios (departamentos de ornato y los de planificación).
- *US Fish and Wildlife Service*.
- Sector de viveros privados.
- Organizaciones comunitarias y no gubernamentales.
- Consejo Asesor de Forestación Urbana y Comunidades de Puerto Rico Inc.
- Profesionales en las ciencias sociales.

## Implantación del plan

El comité de reforestación coordina la ejecución del plan de reforestación, pero no es responsable por la ejecución del plan. El comité de reforestación es un facilitador y guía del programa de reforestación.

El plan de reforestación se implanta por medio de módulos sectoriales a cargo de distintos entes gubernamentales y la colaboración de entes no gubernamentales que operan con distintas fuentes de financiamiento. Esto no evita que el gobierno central asigne un fondo para promover la reforestación.

El programa de reforestación se implantará sobre el terreno basado en sectores específicos a reforestarse. Una vez que se sugiere un sector para reforestarlo, se lleva a cabo un estudio de las condiciones en tal sector, incluyendo: las climáticas, edáficas y topográficas; la elevación, y la logística. Ese estudio incluye la cobertura existente y determina el tipo de reforestación a llevarse a cabo, por ejemplo, por regeneración natural, por regeneración asistida, enriquecimiento, siembras en línea o bajo copas y qué especies son recomendables (nativas o no nativas). El estudio incluye también un plan de cuido y monitoreo de la siembra para asegurar la sobrevivencia de los árboles, y establecer un récord para guiar siembras futuras, o sea, incorporar el aprendizaje en cada actividad del programa. Finalmente, el estudio debe incluir un plan de contingencia para anticipar los procedimientos ante eventos como sequías inundaciones, ataques de insectos o enfermedades o huracanes.

Cada sector para reforestar será la responsabilidad de algún grupo gubernamental o no gubernamental desde la planificación, durante la ejecución y el mantenimiento de la siembra. Los programas de reforestación se guiarán por las lecciones aprendidas en la década de 1940, ajustándolas a las condiciones socioecológicas del presente y con la experiencia acumulada en el presente con otros esfuerzos de reforestación.

## Agradecimientos

Gracias a Omar Gutiérrez del Arroyo Santiago, Magaly Figueroa, Maya Quiñones, LT. Joel R. Figueroa, Oscar Abelleira Martínez, Rafael Rivera, Rey E. Cruz Aguilar, Yariliz R. Quiles Martínez, John Ewel, Sebastián Martinuzzi, Olga Ramos. Helen Nunci ayudó con la elaboración del manuscrito.

## Literatura citada

Bessette-Kirton, E. K., C. Cerovski-Darriau, W. H. Schulz, J. A. Coe, J. W. Kean, J. W. Godt, M. A. Thomas y K. S. Hughes (2019). "*Landslides triggered by hurricane Maria: assessment of an extreme event in Puerto Rico*". *GSA Today, 29*(6), pp. 4-10. https://doi.org/10.1130/GSATG383A.1.

Francis, J. K. *(1995). "Forest plantations in Puerto Rico"*. en A. E. Lugo y C. A. Lowe (eds.). *Tropical forests: management and ecology* (pp. 210-223). Springer-Verlag.

Francis, J. K., y C. A. Lowe (eds.) (2000). *Silvics of native and exotic trees of Puerto Rico and the Caribbean islands*. USDA Forest Service.

Francis, J. K., y H. A. Liogier (1991). *Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. General Technical Report SO-82. USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.*

Gilormini, J. A. (1949). *Manual para la propagación de árboles y el establecimiento de plantaciones forestales en Puerto Rico*. Segunda edición. Departamento de Agricultura y Comercio, Servicio de Bosques de Puerto Rico.

Liegel, L. H., y C. R. Venator (1987). *A technical guide for forest nursery management in the Caribbean and Latin America. USDA Forest Service Sothern Forest Experiment Station General Technical Report SO-67*.

Lugo, A. E. (2014). La cobertura de terreno: el próximo conflicto ambiental. *Acta Científica, 28*: pp. 49-50.

Lugo, A. E. (2019). "*Energy and ecological basis of extreme events". En Social-ecological- technological effects of hurricane María on Puerto Rico: planning for resilience under extreme events* (pp. 53-73). Springer International Publishing.

Lugo, A. E., y J. K. Zimmerman (2002). *Ecological life histories*. En J. A. Vozzo (ed.). *Tropical tree seed manual. Agriculture Handbook 721* (pp.191-213). *USDA Forest Service*.

Marcano Vega, H. (2017). *Forests of Puerto Rico, 2014. Resource Update FS-121. USDA Forest Service Southern Research Station*.

Marcano Vega, H. (2019). "Los bosques de Puerto Rico, 2014". En *Resource Bulletin SRS-224, USDA Forest Service, Southern Research Station*.

Marrero, J. (1948). "*Forest planting in the Caribbean National Forest past experience as a guide for the future". Caribbean Forester, 9*(85-213).

Marrero, J. (1950). "La reforestación de tierras degradadas de Puerto Rico". *Caribbean Forester, 11*, pp. 16-24.

Marrero Torrado, J. y F. H. Wadsworth (2014). *"The decade of tree planting in El Yunque. Acta Científica, 28*, pp. 24-25.

McCormick, J. F. (1995). *"A review of the population dynamics of selected tree species in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico".* En A. E. Lugo y C. A. Lowe (eds.). *Tropical forests: management and ecology. Springer Verlag*.

Monmany, A. C., W. A. Gould, M. J. Andrade Nuñez, G. González, y M. Quiñones (2017). "Cap. 4: *Characterizing predictability of fire occurrence in tropical forests and grasslands: the case of Puerto Rico*". En S. Chakkarovarty y G. Shukla (eds.). *Forest Ecology and Conservation*. InTech. doi: 10.5772/63322.

Ruiz, B. I. (ed.)2002. *Manual de reforestación para América tropical. General Technical Report IITF-GTR-18*. International Institute of Tropical Forestry.

Thaxton, J. M., S J. Van Bloem y S. Whitmire (2012). *"Fuel conditions associated with native and exotic grasses in a subtropical dry forest in Puerto Rico". Fire Ecology, 8*(3): doi 10.4996/fireecology.0803009.

Wadsworth, F. H. (2014). *"The wood of the cordillera central, lose it or use it". Acta Científica, 28*, pp. 29-30.

# Apéndice 1

**Especies arbóreas utilizadas por el Servicio Forestal para reforestar el Bosque Nacional del Caribe y los bosques estatales de Puerto Rico en la década del 1940 (Marrero 1948, 1950). El asterisco (*) identifica las especies no nativas.**

| Especie | Nombre común | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bosques estatales | | Luquillo | | Toro Negro | |
| *Albizzia lebbeck** | acacia amarilla | | | 46,150 | | | |
| *Albizzia procera** | acacia | 22,000 | | | | | |
| *Aleurites trisperma** | phillipine tung tree | 800 | | | | | |
| *Andira jamaicensis* | moca blanca | | 7,700 | 1,975 | 24,601 | | |
| *Avicennia nítida* | mangle negro | 44,000 | 730 | | | | |
| *Bambusa sp.** | bambúa | 8,000 | | | | 2,350 | |
| *Bambusa tuldoides** | bambúa | 1,000 | | | | | |
| *Buchenavia capitata* | granadillo | | | | | 200 | |
| *Byrsonima spicata* | maricao/ doncella | 16,000 | | 19,169 | | | |
| *Calophyllum calaba* | palo de maría | | 55,800 | | 12,660 | | 757 |
| *Castilla elastica** | caucho o palo de goma | 200 | | | | | |
| *Casuarina equisetifolia** | pino australiano | 402,000 | | | | | |
| *Cedrella mexicana* | cedro | 545,000 | | 525,950 | | 507,016 | |
| *Cedrela odorata* | cedro | 17,000 | | | | | |

| Especie | Nombre común | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bosques estatales | | Luquillo | | Toro Negro | |
| *Ceiba pentandra* | ceiba | | | 5,500 | | | |
| *Colubrina ferruginosa* | quitaran | 524,000 | | | | | |
| *Cordia allidora* | capá | 726,000 | | 344,685 | | 737,158 | |
| *Dacryodes excelsa* | tabonuco | 300 | | | | 22,398 | |
| *Delbergia sissoo** | indian rosewood | 32,000 | | 60,920 | | | |
| *Dipholis sintenisiana* | espejuelo | | 260 | | | | |
| *Eucalyptus citriodora** | eucalipto oloroso | | | 2,150 | | | |
| *Eucalyptus resinifera** | caoba roja | | | | | 10,800 | |
| *Eucalyptus robusta** | eucalipto oloroso | 377,000 | | 17,650 | | 80,910 | |
| *Eucalyptus rostrata** | eucalipto rojo | | | | | 3,800 | |
| *Eucalyptus sp.** | eucalipto | 1,267,000 | | 4,640 | | 3,380 | |
| *Eugenia jambos** | pomarrosa | | | 1,975 | | | |
| *Eugenia stahlii* | guayabota | | | | | 6,500 | |
| *Guarea trichilioides* | guaraguao | 256,000 | | 63,891 | | 125,401 | |
| *Guaiacum officinale* | guayacán | 47,000 | 440 | | | | |

| Especie | Nombre común | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) | Plántulas | Semillas (libras) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bosques estatales | | Luquillo | | Toro Negro | |
| *Haematoxylon campechianum** | campeche | 1,000 | | | | | |
| *Hyeronima clusioides* | cedro macho | 200 | | | | | |
| *Hymenaea courbaril* | algarrobo | | 1,900 | 3,900 | 544 | 14 | |
| *Inga punctata** | | 3,000 | | | | | |
| *Laguncularia racemosa* | mangle blanco | 167,000 | 2,500 | | | | |
| *Lucuma multiflora* | jácana | | 8,900 | | 6,384 | | 15,293 |
| *Mimusops nitida** | ausubo | | | 19,450 | | 3,500 | |
| *Montezuma speciosissima* | maga | 1,071,000 | | 206,359 | | 142,785 | |
| *Ocotea moschata* | nuez moscada | | 50 | | 500 | 1,000 | 2,849 |
| *Petitia domingensis* | capa blanco | 674,000 | 110 | 191,106 | | 10,010 | |
| *Prosopis julifora** | bayahonda o mesquite | | 2,680 | | | | |
| *Rhizophora mangle* | mangle zapatero o rojo | | 9,600 | | | | |
| *Samanea saman** | dormilón/ samán | 1,000 | | | | | |
| *Sciacassia siamea** | casia amarilla | | | 43,155 | | | |
| *Sideroxylon foetidissimum* | tortugo colorado | 17,000 | | | | 2,075 | |
| *Stahlia monosperma* | cobana | 100 | | | | | |
| *Swietenia candollei** | caoba venezolana | 1,019,000 | | 405,742 | | 204,990 | |
| *Swietenia macrophylla** | caoba hondureña | 1,593,000 | | 700,460 | | 931,536 | |
| *Swietenia mahagoni** | caoba dominicana | 3,955,000 | 520 | 963,902 | | 61,843 | |
| *Tabebuia pallida* | roble blanco | 25,000 | | 232,625 | | 42,200 | |
| *Tamarindus indica** | tamarindo | | 40 | | | | |
| *Tectona grandis** | teca | 228,000 | | 63,543 | | 1,500 | |
| *Tetragastris balsamifera* | palo de aceite | 7,000 | | | | | |
| *Vitex divaricata* | péndula o higuerillo | 118,000 | | 9,300 | | 188,899 | |
| *Zanthoxylon flavum* | aceitillo | 500 | | | | | |
| *Zizyphus jujuba** | aprin/yuybi | 200 | | | | | |
| Total | | 13,165,300 | 91,230 | 3,934,197 | 44,689 | 3,090,265 | 18,899 |

# Apéndice 2

## Adaptabilidad de distintas especies arbóreas a las condiciones del Bosque Nacional del Caribe en Puerto Rico (Marrero, 1948)

| *División de Luquillo* | | |
|---|---|---|
| *Prometedoras* | *Dudosas* | *Sin éxito* |
| Laderas cóncavas inferiores y valles | | |
| Ausubo | *Albizzia lebbeck* | Ceiba |
| Caoba hondureña | Algarrobo | Dalbergia |
| Capá prieto | Capá blanco | Moca |
| Jácana | *Casuarina* | Cedro (*C. mexicana*) |
| Nuez moscada | *Eucalyptus* spp. | Caoba dominicana |
| | Guaraguao | Casia de Siam |
| | Higuerillo | |
| | Maga | |
| | María | |
| | Maricao | |
| | Roble | |
| | Teca | |
| Laderas uniformes | | |
| Ausubo | *Albizzia lebbeck* | Caoba dominicana |
| Capá blanco | Algarrobo | Caoba hondureña |
| Capá prieto | Casia de Siam | Ceiba |
| Jacana | *Casuarina* | Dalbergia |
| María | Guaraguao | Maga |
| Maricao | *Eucalyptus* spp. | Moca |
| Nuez moscada | Higuerillo | Cedro (*C. mexicana*) |
| Roble | Teca | |

| *División de Luquillo* | | |
|---|---|---|
| *Prometedoras* | *Dudosas* | *Sin éxito* |
| Laderas superiores convexas y cerros | | |
| María | Maricao | Caoba hondureña |
| Roble | *Eucalyptus* spp. | Caoba dominicana |
| | | Cedro (*C. mexicana*) |
| | | Casuarina |
| | | Maga |
| | | Dalbergia |
| | | Teca |

| *División Toro Negro* | | |
|---|---|---|
| *Prometedoras* | *Dudosas* | *Sin éxito* |
| Áreas fuertemente erosionadas | | |
| *Eucalyptus* | María | Caoba hondureña |
| Roble | Pomarrosa | Cedro |
| | | Capa prieto |
| | | Guaraguao |
| | | Higuerillo |
| | | Jácana |
| | | Nuez moscada |
| Áreas que no están fuertemente erosionadas | | |
| Ausubo | Capá blanco | Caoba dominicana |
| Capá prieto | María | Caoba hondureña |
| Guaraguao | Roble | Cedro |
| Higuerillo | | Teca |
| Jácana | | Tortugo amarillo |
| Maga | | |
| Nuez moscada | | |
| Tabonuco | | |

# Apéndice 3

## Adaptabilidad de distintas especies arbóreas a las condiciones de las montañas centrales y del este de Puerto Rico (Marrero, 1950)

| Bosque | Sitio | Adaptabilidad de las Especies | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Prometedora* | *Dudosa* | *Sin éxito* |
| Montañas Centrales y del Este | | | | |
| Guavate (porciones norte y oeste de Carite) | Valles y laderas cóncavas | Capá prieto<br>Guaraguao<br>Maga<br>Nuez moscada | Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>María<br>Eucalipto<br>Tabonuco<br>Maricao<br>Jácana<br>Higuerillo<br>Roble | Teca<br>Motillo<br>Cedro español<br>Masa<br>Tortugo amarillo<br>Caoba dominicana<br>Dalbergia<br>Moca |
| | Laderas uniformes | Capá prieto<br>Guaraguao<br>Nuez moscada<br>María*<br>Jácana<br>Roble<br>Eucalipto | Higuerillo<br>Tabonuco<br>Maricao | Teca<br>Motillo<br>Cedro español<br>Masa<br>Tortugo amarillo<br>Caoba dominicana<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Dalbergia<br>Maga<br>Moca |

| Bosque | Sitio | Adaptabilidad de las Especies | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Prometedora* | *Dudosa* | *Sin éxito* |
| Montañas Centrales y del Este | | | | |
| Guavate (porciones norte y oeste de Carite) | Laderas altas convexas y topes | Eucalipto<br>María*<br>Roble | Tabonuco<br>Maricao | Higuerillo<br>Teca<br>Motillo<br>Cedro español<br>Masa<br>Tortugo amarillo<br>Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Caoba dominicana<br>Dalbergia<br>Maga<br>Jácana<br>Guaraguao<br>Capá prieto<br>Nuez moscada<br>Moca |

| Bosque | Sitio | Adaptabilidad de las Especies | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Prometedora* | *Dudosa* | *Sin éxito* |
| Montañas Centrales y del Este | | | | |
| Patillas Bajo (porciones sur de Carite) | Laderas bajas cóncavas y valles | María<br>Maga<br>Teca | Capá blanco<br>Casuarina<br>Guaraguao<br>Eucalipto<br>Higuerillo | Cedro español<br>Caoba dominicana<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana |
| | Laderas uniformes | María<br>Eucalipto<br>Capá blanco | Casuarina<br>Guaraguao<br>Maga | Cedro español<br>Caoba dominicana<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Teca<br>Higuerillo |
| | Laderas altas convexas y topes | María<br>Eucalipto | Casuarina | Cedro español<br>Caoba dominicana<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Maga<br>Teca<br>Higuerillo<br>Capá blanco<br>Guaraguao |
| Patillas alto (porción este de Carite) | Laderas bajas cóncavas y valles | Capá prieto<br>Jácana | Roble<br>Algarrobo<br>María<br>Eucalipto<br>Maga<br>Capá blanco<br>Higuerillo | Cedro español<br>Tortugo amarillo<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Caoba dominicana |
| | Laderas uniformes | María<br>Eucalipto<br>Roble<br>Capá prieto | Capá blanco<br>Algarrobo<br>Maga<br>Higuerillo<br>Jácana | Tortugo amarillo<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Caoba dominicana<br>Cedro español |
| Patillas alto (porción este de Carite) | Laderas altas convexas y topes | María<br>Roble<br>Eucalipto | | Capá blanco<br>Caoba venezolana<br>Caoba dominicana<br>Capá prieto<br>Algarrobo<br>Maga<br>Tortugo amarillo<br>Higuerillo<br>Jácana<br>Cedro español<br>Caoba hondureña |
| Guilarte | Laderas bajas cóncavas y valles | Capá prieto<br>Guaraguao<br>Higuerillo<br>Jácana<br>Maga | Avelluelo<br>Eucalipto<br>Capá blanco<br>María<br>Roble | Teca<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Cedro español |
| | Laderas uniformes | Capá prieto<br>Guaraguao<br>Higuerillo<br>Jácana**<br>Roble<br>Eucalipto | María<br>Maga<br>Capá blanco<br>Avelluelo | Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Cedro español<br>Teca |
| | Laderas altas convexas y topes | Roble<br>Eucalipto | María<br>Avelluelo | Teca<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Cedro español<br>Maga<br>Capá blanco<br>Higuerillo<br>Guaraguao<br>Jácana<br>Capá prieto |

*Solo en Guavate bajo.

**Evitar sitios degradados.

# Apéndice 4

## Adaptabilidad de distintas especies arbóreas a las condiciones de la región de calizas de Puerto Rico (Marrero, 1950)

| Bosque | Sitio | Adaptabilidad de las Especies | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Prometedora* | *Dudosa* | *Sin éxito* |
| Región de Calizas (karso) | | | | |
| Río Abajo | Áreas onduladas abiertas | Teca<br>María<br>Casuarina<br>Cedro macho | Capá blanco<br>Maga<br>Eucalipto* | Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Caoba dominicana<br>Cedro español<br>Capá prieto<br>Avelluelo<br>Higuerillo<br>*Albizzia*<br>Guaraguao |
| | Fondo de sumideros | Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Maga<br>Guaraguao<br>María | Capá prieto<br>Capá blanco<br>Eucalipto<br>Cedro macho<br>Casuarina<br>Teca | Caoba dominicana<br>Cedro español<br>Avelluelo<br>Higuerillo<br>*Albizzia* |
| | Laderas | Cedro macho<br>Capá blanco<br>Guaraguao<br>Maga<br>María | Eucalipto<br>Capá prieto<br>Casuarina<br>Teca | Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Caoba dominicana<br>Avelluelo<br>*Albizzia*<br>Higuerillo<br>Cedro español<br>Moca |
| Guajataca | Fondo de sumideros | Aceitillo<br>Caoba dominicana<br>María<br>Capá prieto<br>Caoba venezolana<br>Caoba hondureña | Roble | |
| | Fondo de sumideros | Guaraguao<br>Teca<br>Jácana<br>Capá blanco | | |
| | Laderas | Caoba dominicana<br>María<br>Capá blanco<br>Aceitillo | Teca<br>Maga<br>Capá prieto<br>Jácana<br>Guaraguao<br>Roble | Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Moca |
| | Topes entre sumideros | Caoba dominicana<br>María<br>Roble | Aceitillo | Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Teca<br>Maga<br>Jácana<br>Capá blanco<br>Moca<br>Capá prieto<br>Guaraguao |
| Guánica | Fondos de valles, suelos arenosos a lo largo de la playa | Cassia de Siam<br>Caoba dominicana<br>Capá prieto<br>Guayacán<br>Bayahonda<br>Casuarina | Campeche | Eucalipto<br>Cedro español<br>Samán<br>Aceitillo<br>María |
| Isla de Mona | Suelos arenosos** | Caoba dominicana<br>Casuarina | | Avelluelo |

*Crece en pantanos

**En la planicie costera

# Apéndice 5

## Adaptabilidad de distintas especies arbóreas a las condiciones de la región de serpentina de Puerto Rico (Marrero, 1950)

| *Bosque* | *Sitio* | *Adaptabilidad de las especies* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Prometedora* | *Dudosa* | *Sin éxito* |
| Región de Serpentina (ultramáfico) | | | | |
| Maricao | Valles ribereños angostos con pendientes cóncavas | Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Caoba dominicana<br>María<br>Maga<br>Capá blanco<br>Guaraguao | Eucalipto<br>Casuarina<br>Delbergia<br>Jácana<br>Péndula<br>Algarrobo | Spanish cedar<br>Fresno de Hawaii<br>Cassia de Siam |
| | Pendientes con aspectos al norte y oeste | María<br>Eucalipto | Capá blanco<br>Guaraguao | Spanish cedar<br>Fresno de Hawaii<br>Cassia de Siam<br>Caoba hondureña<br>Caoba venezolana<br>Maga<br>Casuarina<br>Dalbergia<br>Péndula<br>Caoba dominicana<br>Algarrobo<br>Jácana |
| Maricao | Pendientes con aspectos al sur y este, topes y arcillas Nipe degradadas | María<br>Eucalipto | | Cedro español<br>Fresno de Hawaii<br>Cassia de Siam<br>Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Caoba dominicana<br>Dalbergia<br>Algarrobo<br>Jácana<br>Casuarina<br>Péndula<br>Maga<br>Capá blanco<br>Guaraguao |
| Susúa | Valles ribereños angostos con pendientes cóncavas | Caoba dominicana<br>María | Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Algarrobo<br>Eucalipto<br>Casuarina | Capá blanco<br>Bayahonda<br>Avelluelo |
| | Pendientes con aspectos al norte y oeste | Caoba dominicana | María<br>Caoba venezolana<br>Caoba hondureña<br>Algarrobo<br>Eucalipto<br>Casuarina | Capá blanco<br>Bayahonda<br>Avelluelo |
| | Pendientes con aspectos al sur, pendientes altas y topes, y fases degradadas de arcillas Nipe | Ninguna especie fue satisfactoria. Especies nativas que crecen allí incluyen a canelillo y aceituna, pero no se estudiaron. | | |

# Apéndice 6

## Estadísticas sobre los bosques de Puerto Rico entre 2009 y 2014 (simplificado de Marcano Vega, 2017). El diámetro a la altura del pecho de los árboles mayores a una o cinco pulgadas se ilustra con >1" y >5"

| Parámetros | *2009* | *2014* | *Cambio* |
|---|---|---|---|
| | *Todos los bosques* | | |
| *Área (miles de acres)* | 1 200.3 | 1 206.3 | 6.0 |
| Número de árboles > 1" vivos (millones) | 1 442.2 | 1 421.5 | -20.7 |
| Volumen neto de árboles > 5" vivos (millones de metros cúbicos) | 1 257.0 | 1 390.3 | 133.3 |
| *Biomasa de árboles vivos (miles de toneladas)* | 38 806.3 | 42 339.1 | 3 532.8 |
| Crecimiento neto de árboles > 5" vivos (millones de pies cúbicos por año) | 34.4 | 43.2 | 8.8 |
| Remoción anual de árboles vivos> 5" (millones de metros cúbicos) | 0.1 | 4.5 | 4.4 |
| Mortandad anual de árboles > 5" (pies cúbicos) | 31.9 | 32.7 | 0.8 |
| | *Bosques en zonas madereras* | | |
| *Área (miles de acres)* | 886.3 | 881.8 | -4.6 |
| Numero de árboles > 1" vivos (millones) | 994.5 | 961.1 | -33.5 |
| Volumen neto de árboles > 5" vivos (millones de metros cúbicos) | 1 044.1 | 1 128.0 | 83.9 |
| *Biomasa de árboles vivos (miles de toneladas)* | 31 504.5 | 33 593.4 | 2 088.9 |
| Crecimiento neto de árboles > 5" vivos (millones de pies cúbicos por año) | 33.4 | 33.4 | 0.0 |
| Remoción anual de árboles vivos> 5" (millones de metros cúbicos) | 0.1 | 4.3 | 4.1 |
| Mortandad anual de árboles > 5" (pies cúbicos) | 25.5 | 29.8 | 4.4 |

# Apéndice 7

## Apuntes sobre los incendios forestales en Puerto Rico

La siguiente tabla contiene los costos o pérdidas a causa de incendios forestales en Puerto Rico de acuerdo con el Negociado del Cuerpo de Bomberos. En gran parte los incendios forestales son de pastizales o vegetación no arbórea. Sin embargo, cuando el incendio penetra el bosque, los costos son los más altos.

| *Fruto o producto* | *Costo ($/cuerda)* |
|---|---|
| Heno | 800 |
| Pangola | 800 |
| Estrella | 800 |
| Guinea | 800 |
| Bermudas | 600 |
| Pajón | 600 |
| Buffel | 600 |
| Pastos naturales cultivados | 300 |
| Árboles frutales | 200 (por árbol) |
| Bambúes | 100 (por cepa) |
| Fuego de bosque | 50,000 |
| Pasto silvestre | 50 |

Históricamente el fuego no es parte del entorno ambiental de Puerto Rico y los árboles nativos son susceptibles a los incendios, ya que sus cortezas son finas y, con pocas excepciones, carecen de protección contra incendios (Wolfe *et al.,* 2014). La introducción de gramíneas africanas a Puerto Rico para suplementar la dieta del ganado causó un cambio fundamental al entorno ambiental, pues estas estaban adaptadas al fuego, se incendiaban con más facilidad y obtenían ventaja competitiva con gramíneas nativas, que evolucionaron sin el fuego. Investigaciones en el bosque seco de Guánica contienen ejemplos de esta dinámica (Thaxton *et al.,* 2012). Factores antropogénicos, como colillas encendidas desechadas a lo largo de las carreteras, causan igniciones en la vegetación, y los incendios penetran en los bosques donde causan daño a la vegetación nativa.

Monmany *et al.,* (2017) analizaron 34,636 incendios en Puerto Rico entre el 2003 y 2011. Encontraron lo siguiente:

- Los fuegos en Puerto Rico tienden a ocurrir mayormente en zonas secas y pastizales. Los bosques húmedos y pluviales tienden a no quemarse, aunque durante períodos secos hay posibilidad de fuegos en estos sistemas.
- En 1999, 5 % de los fuegos se originaron por eventos no antropogénicos y 95 % por causas antropogénicas.
- Cambios en los usos de terrenos, la urbanización, la fragmentación del paisaje y la actividad humana están aumentando la incidencia de incendios en Puerto Rico, incluyendo en bosques húmedos.
- Sobre 5,000 incendios forestales ocurren anualmente en Puerto Rico.
- Se desconoce el efecto acumulativo de estos incendios.
- Las 91 estaciones de bomberos registran y combaten los incendios forestales.
- El área promedio de los fuegos es de 1.52 ha.
- El número de fuegos por municipio varía de 69 a 2,174, predominando los fuegos en la zona seca de la costa sur.
- Los incendios tienden a ocurrir a ciertas horas del día y en ciertos meses (los secos) del año, así como en determinadas coberturas de terreno.

A medida que continúe en aumento la frecuencia de incendios forestales, será necesario implantar un plan para contrarrestar los efectos negativos de los fuegos. El Plan de Acción Forestal 2021 del DRNA contiene recomendaciones específicas para controlar los incendios forestales, incluyendo las quemas preventivas y los cortafuegos. Quemas preventivas se han llevado a cabo en el bosque seco de Guánica a lo largo de la PR-333 con resultados mixtos. Igualmente, hay poca experiencia con cortafuegos, aunque es una técnica que se utiliza durante el combate de los fuegos forestales. Es importante desarrollar estas técnicas como estrategias de prevención de fuegos y para eso hay que llevar a cabo ensayos en una variedad de condiciones ambientales y coberturas de terreno.

**Anejo 6**

# Informe de la vulnerabilidad turística de Puerto Rico




En la imagen se reproduce la firma que aprueba el documento original.

Informe de la vulnerabilidad turística de Puerto Rico

*Documento preparado por:*
Nildamarie Díaz Hiraldo, Supervisora Turismo Sostenible
Nilda Luhring González, Oficial de Desarrollo de Turismo Sostenible
División de Turismo Sostenible, marzo de 2023

## Trasfondo

La Compañía de Turismo (CTPR) es una corporación pública establecida en 1970 cuya misión es emitir política pública con el fin de promocionar y posicionar a Puerto Rico como un destino líder en el Caribe y el Mundo. Las fuentes de ingresos de la CTPR provienen de los recaudos del Impuesto a la Habitación (*Room Tax*) y de los recaudos de máquinas tragamonedas en los casinos. La industria del turismo generó 84,300 empleos directos[1] en 2022 y representa un aporte en la economía de Puerto Rico de 3.79 % del PIB (2021). El turismo está representado por una diversidad de sectores, tales como: alojamiento, restaurantes, empresas de excursiones, guías turísticos, atractivos turísticos, transportación turística, y otros proveedores. Sin dejar de reconocer la aportación que hace la industria del turismo al desarrollo económico del país, se reconoce de igual manera el impacto en la huella ecológica que produce, lo que la hace muy vulnerable ante los efectos del cambio climático.

Por lo tanto, con el inicio de la década del 2000, la CTPR comienza un proceso de reestructuración y transformación que reconoce la necesidad de redirigir las responsabilidades en la gestión pública para que sean cónsonas con el nuevo perfil del viajero, las nuevas tendencias y una necesidad innegable de incorporar la sostenibilidad como parte de la política pública, la planificación y el desarrollo del destino. Con esto en mente, se logra la aprobación de la Ley 254 de 2006, conocida como la "Ley de Política Pública para el Desarrollo Sostenible de Turismo de Puerto Rico", que, dentro de sus responsabilidades y alcances, crea a la División de Turismo Sostenible (División) en 2008. Desde entonces, se ha estado operando con un plan de trabajo donde se han incorporado la aplicación y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) estipulados por la Organización de las Naciones Unidas como parte de la Agenda 2030. Dentro de las iniciativas desarrolladas en la División se encuentran, pero sin limitarse, el Programa de Certificaciones Sostenibles enfocado en cuatro segmentos principales:

- Eco Estancias - marca enfocada en hospederías que cumplen con criterios de sostenibilidad en su diseño y operación.
- Ecoturismo - marca enfocada en empresas turísticas endosadas que cumplen con los principios del ecoturismo en su aspecto operacional.
- Agroturismo - marca enfocada en experiencias turísticas en espacios donde la actividad agrícola sea la protagonista y fuente principal de ingreso.
- Atracciones verdes - marca enfocada en instalaciones turísticas (centros interpretativos, museos, centros de visitantes, etc.) que cumplen con criterios de sostenibilidad en su diseño y operación.

De igual manera, la División desarrolló el Programa de Turismo Sostenible de Base Comunitaria, enfocado en servir de facilitador en el proceso de planificación, diseño y creación de nuevas experiencias turísticas sostenibles donde es la comunidad el proponente, y el Programa Educando hacia la Sostenibilidad, cuyo enfoque es proveer canales de educación dirigidos a una audiencia general. En 2016, la División, junto a la asistencia de la Universidad de Puerto Rico, generó un Plan de Adaptación que está en vías de ser actualizado. Igualmente, generó un informe sobre el impacto que tuvo el paso de los huracanes Irma y María en Puerto Rico en 2017 en la industria turística, a petición de miembros del CEACC en 2021. Dentro de las alianzas y colaboraciones que ha desarrollado la División se destacan las logradas con la Agencia para la Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y con la organización sin fines de lucro OPAS, para desarrollar, fortalecer y promocionar el *Programa Blue Flag* en playas, marinas y embarcaciones en Puerto Rico. Además de estos programas, la División ha adoptado como programa medular el de Cambio Climático, representado por el ODS 13: Acción por el Clima. Con la finalidad de proponer medidas certeras bajo este programa, se realizó un diagnóstico donde se identificaron las vulnerabilidades físicas de la industria del turismo. Es importante establecer que el análisis y el diagnóstico incluidos en este capítulo están limitados a las hospederías y empresas que en el momento de la redacción del informe contaban con el endoso de la CTPR: 154 hospederías y 157 empresas de excursiones. La tabla 1 provee información de las diferentes categorías de hospederías endosadas por la CTPR.

[1] Negociado de Estadísticas Laborales de EE. UU. (BSL).

| Categoría de Hospedería | Cantidad de habitaciones |
|---|---|
| Alojamiento y desayuno | 3-6 habitaciones |
| Casa de huéspedes | 7-25 habitaciones |
| *Glamping* | Desde 7 unidades |
| Posadas | 7-50 habitaciones |
| Villas turísticas | Desde 7 unidades (cada unidad tendrá una o más habitaciones |
| Hotel | Desde 15 habitaciones |
| Hostal | Mínimo de 12 camas y máximo de 25 habitaciones |
| Alojamiento suplementario de corto plazo | Desde una unidad hasta un máximo de seis unidades |
| Condo-hotel | Desde 15 habitaciones o apartamentos, conjunto de unidades residenciales |
| Parador | De 7 a 17 habitaciones |

*Tabla 1*. Categorías de hospederías endosadas arrecifes de coral por la CTPR.

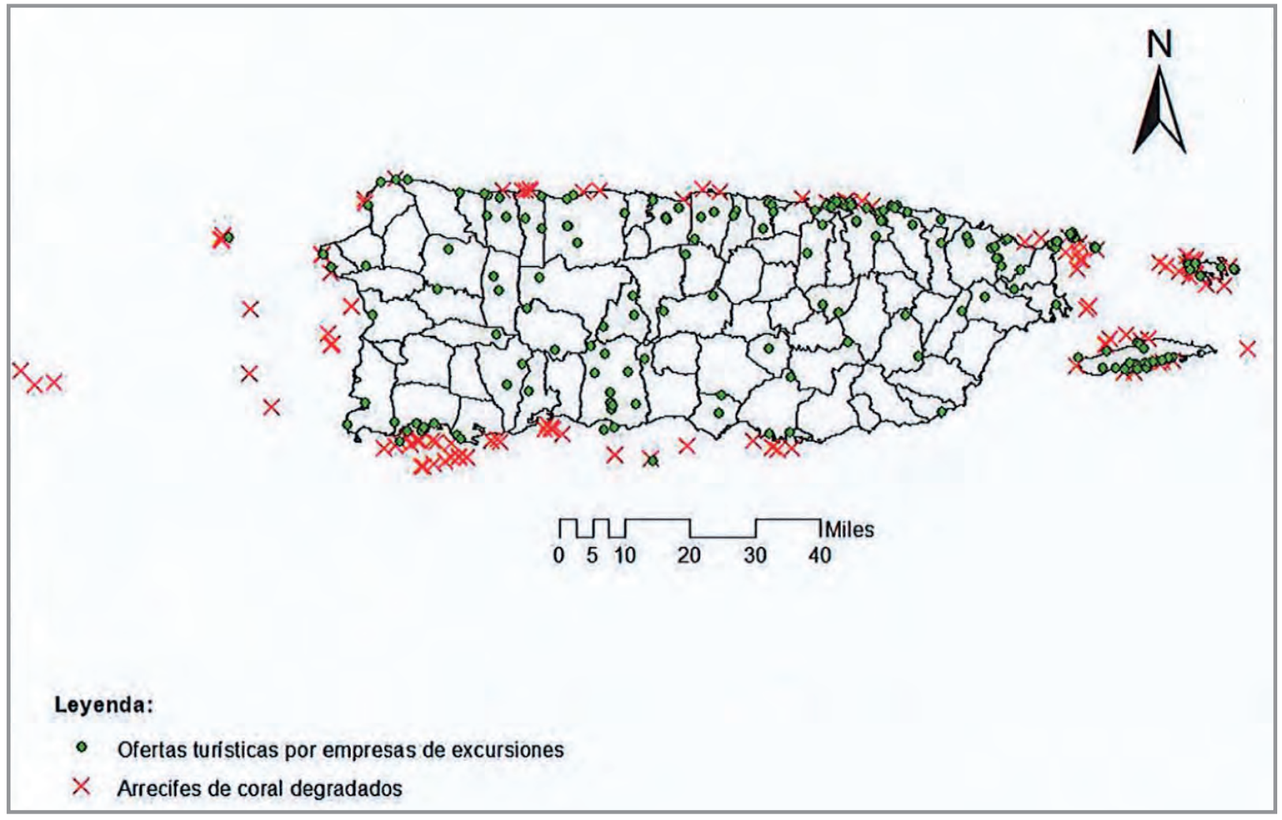



*Figura 1*. Mapa de localización de arrecifes de coral y empresas de excursiones endosadas por la CTPR.

## Análisis de vulnerabilidad física

La vulnerabilidad biofísica puede clasificarse en dos escalas: interna y externa. La vulnerabilidad biofísica por factores internos consiste en aspectos de topografía, uso de terreno y condiciones ambientales. Por otro lado, la vulnerabilidad biofísica por factores externos se refiere a tormentas, huracanes, terremotos y aumento del nivel del mar.[2] A continuación, se expone un diagnóstico general de la vulnerabilidad biofísica de la industria turística en Puerto Rico.

### 1. Vulnerabilidad turística por mortandad y degradación de los arrecifes de coral

Los arrecifes de coral representan un servicio del ecosistema marino que aporta a la economía de Puerto Rico. Del total de 157 empresas de excursiones endosadas por la CTPR, 33 (21%) utilizan los arrecifes de coral como parte de los servicios y experiencias turísticas que ofrecen. Si las segmentamos por el tipo de experiencias turísticas que ofrecen, notaremos que: seis (6) son de pesca recreativa y 27 realizan actividades de *snorkeling,* buceo u observación de vida marina. Es importante mencionar que en Puerto Rico una empresa de excursiones turísticas puede tener una base de operación establecida en un pueblo específico, y dar servicios en más de un municipio y en diferentes partes geográficas. De las 33 empresas de excursiones previamente mencionadas, 22 (67%) proveyeron sus reportes de empleos, donde se reportan 58 empleos a tiempo completo y 149 a tiempo parcial.

Reconocemos y agradecemos la aportación de las capas de información provista por el *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment* (AGRRA) y al profesor Joel Meléndez de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Humacao. Su asistencia permitió crear un mapa de distribución espacial de las ofertas ofrecidas por las empresas de excursiones endosadas en relación con la ubicación de los arrecifes de coral degradados (figura 1).

Por otra parte, aproximadamente 79% de las hospederías endosadas están relacionadas, por cercanía, a arrecifes de coral degradados (figura 2).

### 2. Vulnerabilidad turística por patógenos

La contaminación por patógenos en las playas representa un riesgo a la salud humana y del ecosistema, así como un impacto negativo

[2] Hamdam, Kari y Othman (2015).

| Código | Nombre |
|---|---|
| RW-2 | Balneario *Seven Seas*, Fajardo |
| RW-4 | Balneario Punta Santiago, Humacao |
| RW-5 | Balneario de Rincón |
| RW-6 | Balneario de Patillas |
| RW-7 | Balneario Punta Guilarte, Arroyo |
| RW-8 | Playa Buyé, Cabo Rojo |
| RW-9 | Balneario Caña Gorda, Guánica |
| RW-10 | Playa Santa, Guánica |
| RW-13 | Balneario de Boquerón, Cabo Rojo |
| RW-15 | Balneario de Añasco |
| RW-16 | Balneario *Crash Boat* |
| RW-17 | Balneario Javier Calderón Nieves o Cerro Gordo |
| RW-18 | Balneario Manuel "Nolo" Morales o Sardinera, Dorado |
| RW-19 | Balneario Punta Salinas, Toa Baja |
| RW-22 | Balneario Pico de Piedra, Aguada |
| RW-23 | Balneario Puerto Nuevo, Vega Baja |
| RW-26 | Playita del Condado, San Juan |
| RW-27 | Playa *Ocean Park,* San Juan |
| RW-28 | Playa El Alambique, Carolina |
| RW-29 | Playa Vacía Talega, Loíza |
| RW-30 | Playa Guayanés, Yabucoa |
| RW-31 | *Tropical Beach,* Naguabo |
| RW-32 | Playa Azul, Luquillo |
| RW-33 | Playita Rosada, Lajas |
| RW-34 | Playa Cabullón, Ponce |
| RW-36 | Balneario de Salinas |
| RW-37 | Playa Villa La Mela |
| RW-38 | Muelle de Arecibo |
| RW-39 | Mar Chiquita |
| RW-1A | Balneario, Luquillo |
| RW-14A | Playa Mojacasabe, Cabo Rojo |
| RW-20A | Balneario El Escambrón, San Juan |
| RW-25A | Playa Sixto Escobar, San Juan |
| RW-12B | Playa El Combate, Cabo Rojo |

*Tabla 2*. Playas monitoreadas por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

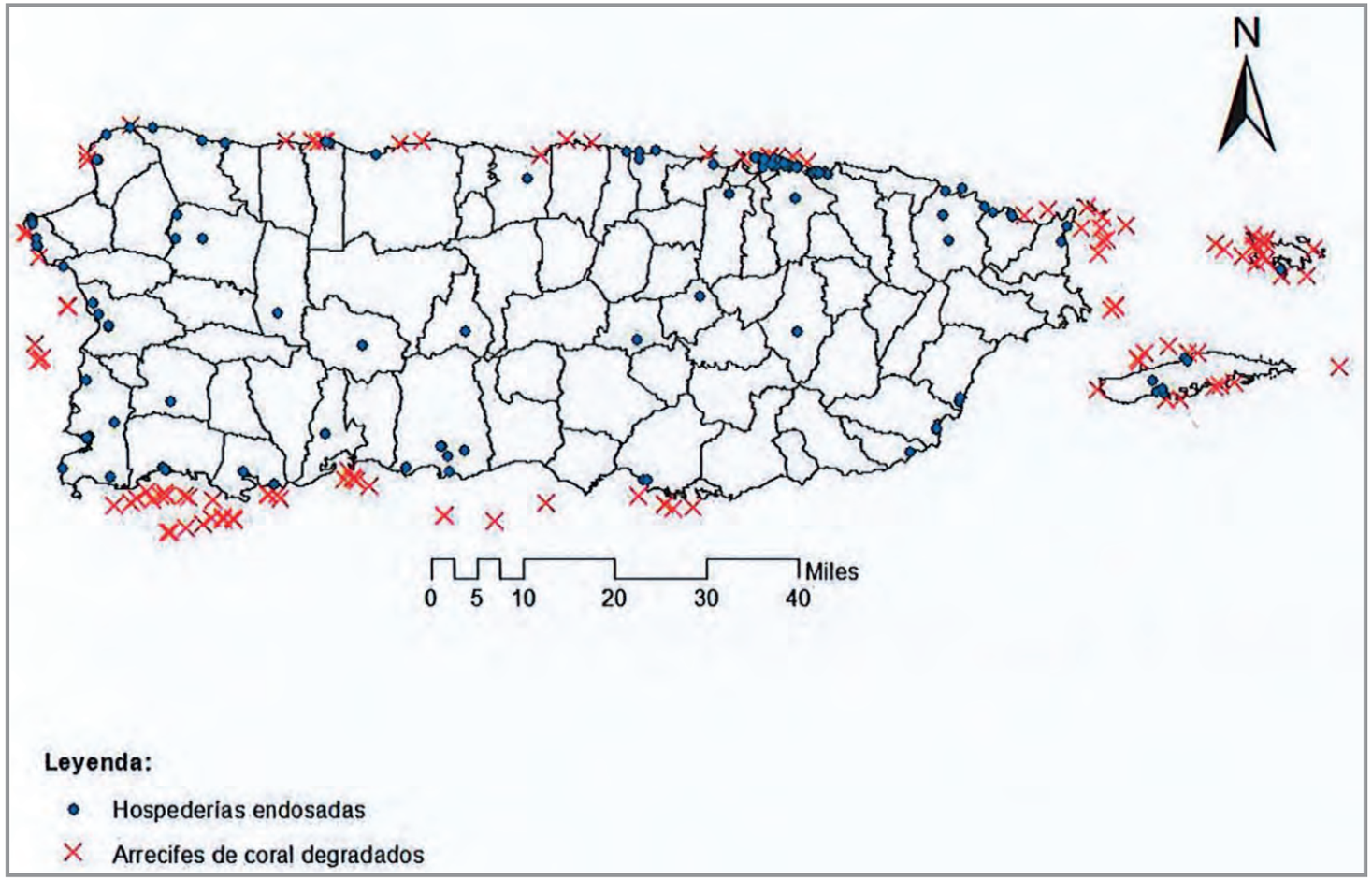
al turismo. El cambio climático puede empeorar las condiciones de las costas por eventos extremos de precipitación en los que se excede la capacidad de los sistemas sanitarios. El incremento de pozos sépticos con inapropiados diseños afecta significativamente la calidad de los cuerpos de agua que fluyen hacia la costa. A su vez, la actividad agrícola pecuaria en áreas cercanas a ríos representa posibles fuentes de contaminación dispersa.

En esta sección se utilizaron los datos de monitoreo de playas para el parámetro de enterococos (colonias por cada 100 mililitros) provistos por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Se evaluó el total de 35 playas monitoreadas (tabla 2) desde 2018 hasta febrero de 2023. Se trabajó un filtro para identificar aquellas playas monitoreadas con resultados mayores a 70 colonias por cada 100 mililitros.

La figura 3 presenta las frecuencias de las playas en exceso de enterococos por año.

Se destaca que, para el año 2018, las playas con mayor frecuencia en exceso de enterococos fueron: RW-38 (Playa Muelle de Arecibo), RW-31 (*Tropical Beach*, Naguabo) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa). De 35 playas monitoreadas, 15 playas (43%) resultaron

*Figura 2*. Mapa de localización de arrecifes de coral degradados y hospederías endosadas por CTPR



con exceso en enterococos en 2018. Para 2019, se vuelve a observar que las playas con mayor frecuencia en exceso de enterococos fueron: RW-31 (*Tropical Beach*, Naguabo) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa). De igual manera, se percibe un aumento en la cantidad de playas con exceso en enterococos, reflejándose 22 playas (63%) de las 35 monitoreadas.

El escenario se repite en 2020 para las playas RW-31(*Tropical Beach*, Naguabo) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa), con mayor frecuencia en exceso de enterococos, añadiéndose en esta ocasión la RW-14 A (Playa Mojacasabe, Cabo Rojo). Nuevamente, se observa un incremento en la cantidad de playas con exceso en enterococos, teniendo 27 playas (77%) de las 35 monitoreadas.

En el año 2021, nuevamente las playas con mayor frecuencia de exceso de enterococos fueron RW-31(*Tropical Beach*, Naguabo) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa). Para este año, se observó una mínima disminución en la cantidad de playas con exceso en enterococos, reportándose 26 playas (74%) de las 35 monitoreadas.

En 2022, las playas con mayor frecuencia de exceso de enterococos fueron: RW-6 (Balneario de Patillas), RW-31(Tropical Beach, Naguabo), RW-19 (Balneario Punta Salinas, Toa Baja) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa). De 35 playas monitoreadas, 33 playas (94%) resultaron con exceso en enterococos, lo que refleja un aumento en comparación con el año anterior y es el porcentaje más alto obtenido dentro del tiempo considerado para este informe.

Resulta importante resaltar que, durante los primeros dos meses del año en curso, ya se habían reflejado 10 playas, de las 35 monitoreadas, con exceso en enterococos.

La figura 4 presenta las 2 playas con mayor frecuencia en exceso de enterococos: RW-31(*Tropical Beach*, Naguabo) y RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa). Es necesario mencionar que las 35 playas monitoreadas presentaron en algún momento, dentro del periodo de 2018 a 2023, excesos en enterococos (70 col onias por cada 100 ml). De igual manera, se observa un incremento en el porcentaje de las playas en incumplimiento a través del tiempo (figura 5).

Del total de 35 playas monitoreadas, 18 (51%) mostraron niveles superiores a 1,000 colonias por 100 mililitro en el período de estudio. Las playas con valores por encima de los 24,000 colonias por cada 100 mililitros fueron: RW-14 A (Playa Mojacasabe, Cabo Rojo) y RW- 12B (Playa Combate, Cabo Rojo) en el año 2020, y la playa RW-31 (*Playa Tropical Beach*, Naguabo) en 2022. Como dato curioso, pese al cierre de los balnearios y la prohibición del uso de recurso playa por motivos de la pandemia por Covid-19, fue en 2020 cuando se observaron algunos de los mayores excesos de enterococos.

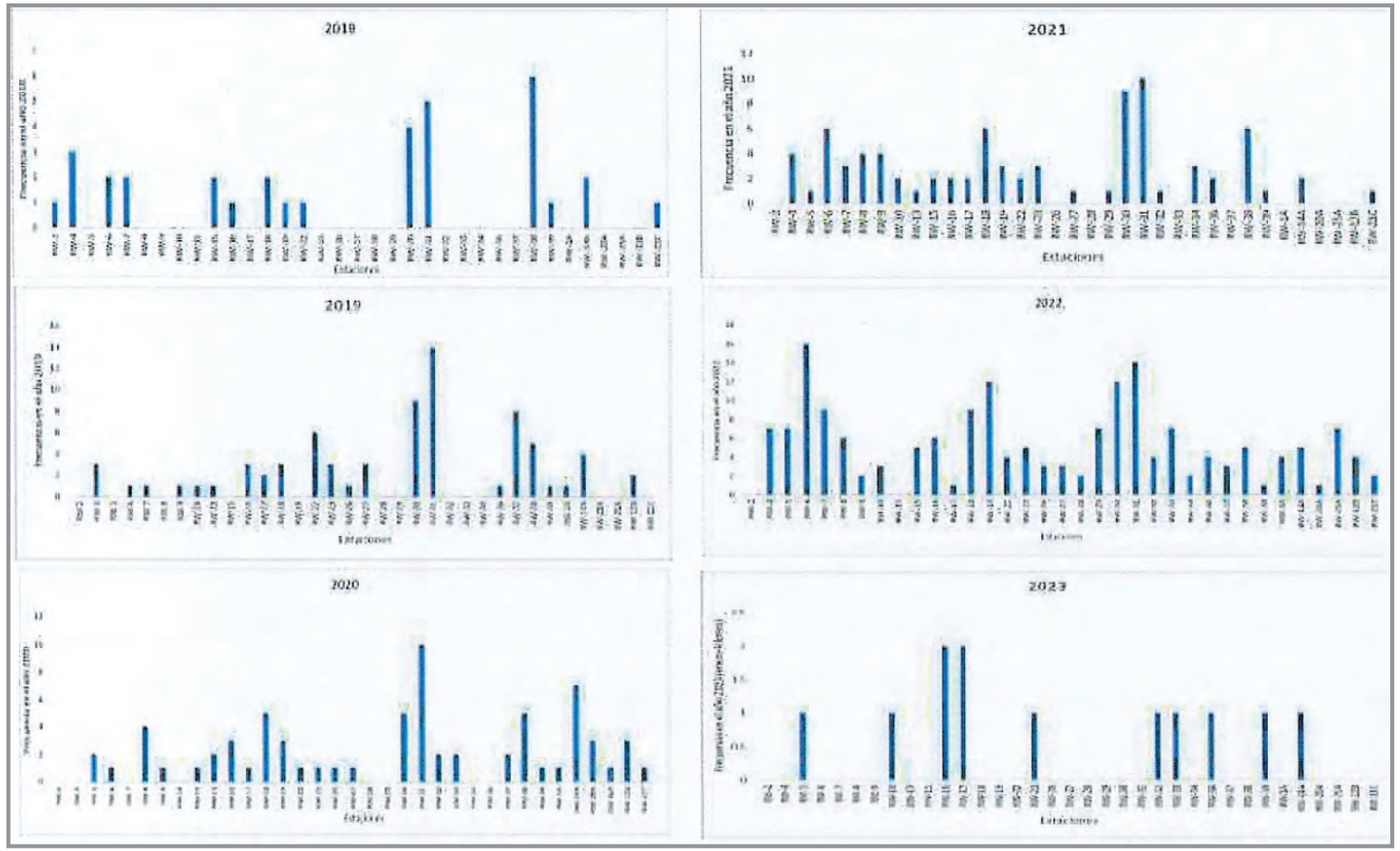



*Figura 3.* Frecuencia de exceso de enterococos para los años 2018 a 2023.

Para fines de evaluación en términos de la actividad turística, se valoraron aquellas playas monitoreadas por el DRNA con mayor frecuencia en exceso de enterococos o con valores extremos, y la distribución espacial de las hospederías endosadas por la CTPR (figura 6).

Se observa entonces que la playa RW-31 (*Playa Tropical Beach* en Naguabo) tuvo mayor frecuencia en exceso de enterococos y presentó uno de los valores extremos en enterococos (24,196 colonias por cada 100 mililitros). No obstante, en su entorno no existen hospederías o empresas de excursiones endosadas por la CTPR. Por otro lado, la playa RW-30 (Playa Guayanés, Yabucoa), que también presentó mayor frecuencia en exceso de enterococos, tiene en su entorno inmediato cuatro (4) hospederías endosadas. La playa RW-38 (Playa Muelle de Arecibo), que también presentó mayor frecuencia en exceso de enterococos, tiene una (1) hospedería endosada y una empresa de excursiones endosada en su entorno. Por otra parte, la playa RW-6 (Balneario de Patillas), que tuvo mayor frecuencia en exceso de en-

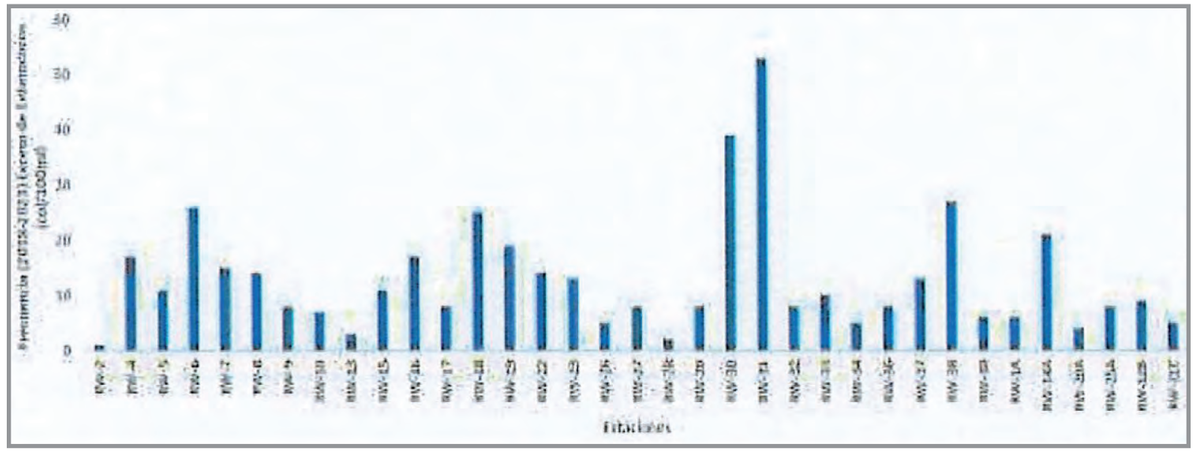


*Figura 4*. Frecuencia de playas en exceso de enterococos en el período 2018-2023.

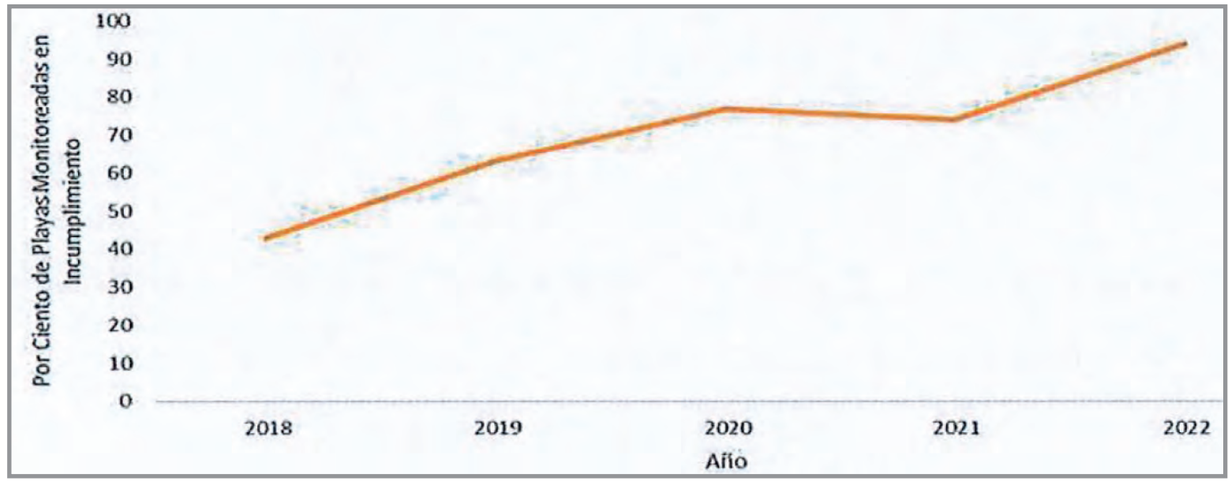



*Figura 5*. Porcentaje de playas monitoreadas en incumplimiento.

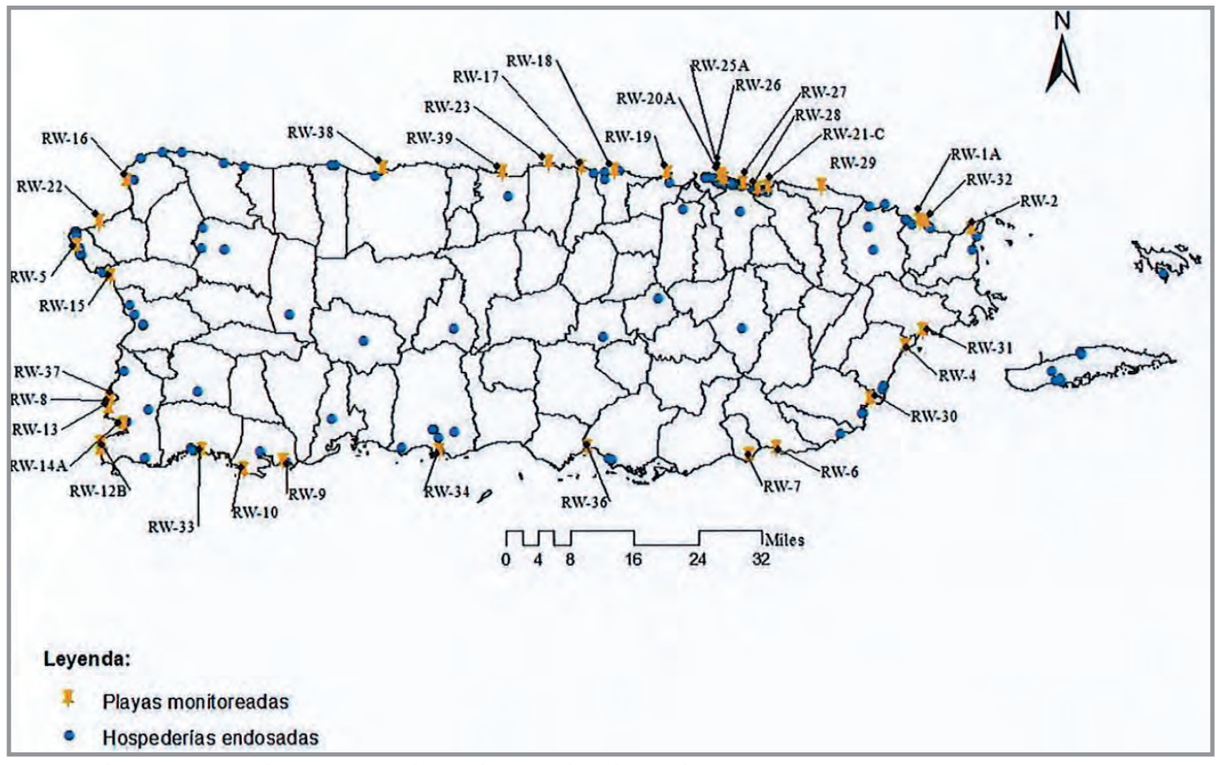



*Figura 6*. Playas monitoreadas por DRNA y hospederías endosadas por la CTPR.

terococos, no cuenta en su entorno con una hospedería endosada, pero sí una (1) empresa de excursión que utiliza dicho recurso acuático para la oferta de sus servicios. La playa RW-18 (Balneario Manuel "Nolo" Morales o Sardinera, Dorado) presentó mayor frecuencia en exceso de enterococos y tiene en su entorno dos (2) hospederías endosadas y una (1) empresa de excursión. La playa Combate (RW-12B) es una que se caracteriza por ser una de alta visitación de turistas y locales. Cuenta con una hospedería endosada dentro de su entorno inmediato y también presentó valores extremos en enterococos durante el periodo analizado.

Con el fin de conocer el estatus de la disposición de servicios sanitarios del total de 154 hospederías endosadas por la CTPR, se comenzó un ejercicio de recopilación de datos donde se obtuvo información de 84 de estas hospederías. El sistema sanitario provisto por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado (AAA) es utilizado en 67 de ellas, mientras que 17, ubicadas cercanas a la costa, utilizan pozos sépticos (ver figura 7).

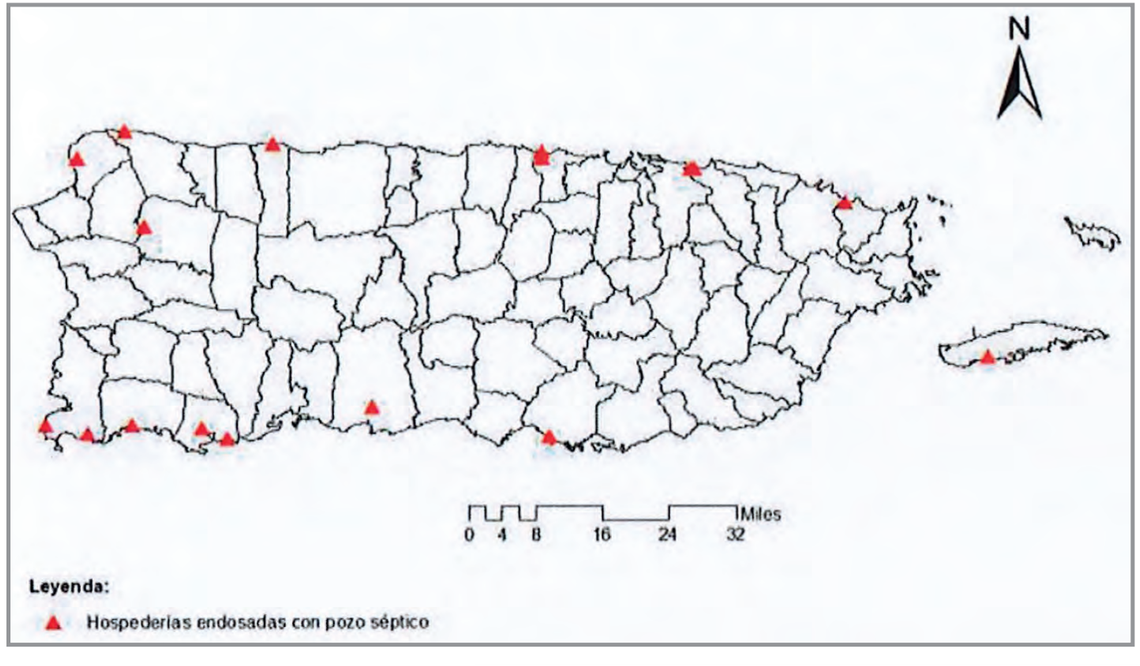



*Figura 7.* Hospederías endosadas con pozos sépticos.

### 3. Vulnerabilidad turística por el aumento del nivel del mar

Es importante comenzar estableciendo que, de las 154 hospederías endosadas por la CTPR, 122 de ellas (79%) se ubican en la zona costanera (figura 8).

Para el estudio de vulnerabilidad turística por el aumento del nivel del mar se utilizaron las proyecciones desarrolladas por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)[3] y se evaluaron las proyecciones del aumento en el nivel del mar desde 1 hasta 10 pies en relación con las hospederías endosadas (figura 9).

La tabla 3 presenta, en términos de porcentaje, la cantidad de hospederías endosadas (hasta el momento de la redacción de este informe) que estarían siendo impactadas según las proyecciones en el aumento del nivel del mar.

La figura 10 del anejo presenta la distribución espacial de las hospederías endosadas que estarían siendo impactadas según

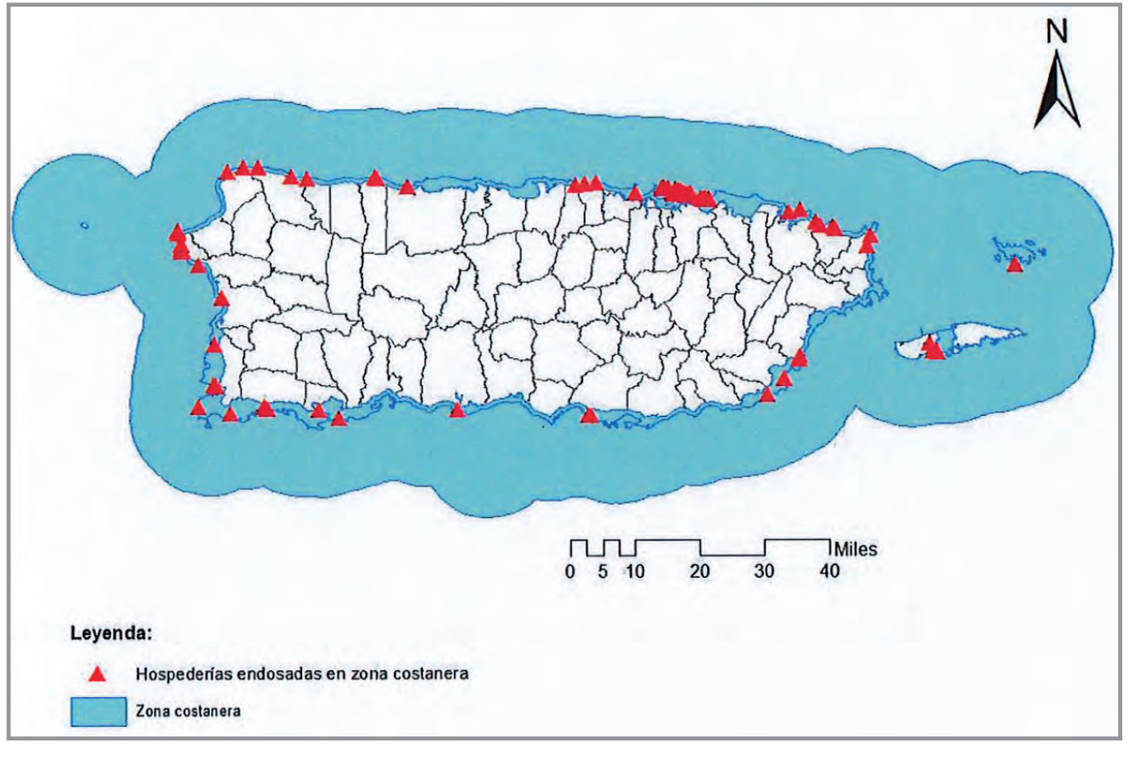



*Figura 8.* Hospederías endosadas en zona costanera.

[3] https://coast.noaa.gov/slrdata/

| *Proyección de aumento del nivel del mar (pies)* | *Porcentaje de Hospederías Endosadas (%)* |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 3 |
| 3 | 5 |
| 4 | 6 |
| 5 | 10 |
| 6 | 15 |
| 7 | 20 |
| 8 | 25 |
| 9 | 32 |
| 10 | 37 |

*Tabla 3.* Porcentaje de hospederías endosadas a ser impactas según proyección en el aumento en el nivel del mar.

las proyecciones en el aumento en el nivel del mar. Dentro de las proyecciones de aumento de dos y tres pies, se observan hospederías endosadas que se ubican en el área metro y sur de la isla. Ya dentro de las proyecciones de aumento de 4 pies se observa que se impactarían, además, hospederías ubicadas en el área suroeste. A partir de la proyección de aumento de 5 pies a 10 pies se observa un incremento en densidad en las hospederías ubicadas en el área metro y un incremento en el área oeste de la isla de forma dispersa. En la proyección específica de aumento de 6 pies se observa el impacto en hospederías del área este de la isla.

### 4. Vulnerabilidad turística por erosión costera y aumento en exposición por migración de costas

Para el análisis de erosión costera se utilizó la capa de información provista por la dra. Maritza Barreto del Instituto de Investigación y Planificación Costera de Puerto Rico (CoRePI-PR). En particular, se utilizó la capa *Beach_Width_Beach_Width_ Changes_Transects*, en la que se efectuó la selección del atributo de erosión de julio de 2018, y se creó una zona de amortiguamiento *(buffer zone)* de 100 metros para luego identificar las hospederías ubicadas en las áreas de erosión costera y cercanas a estas (figura 11). Como resultado de esta metodología, se identificó un total de 47 hospederías endosadas (30%) en áreas de erosión costera.

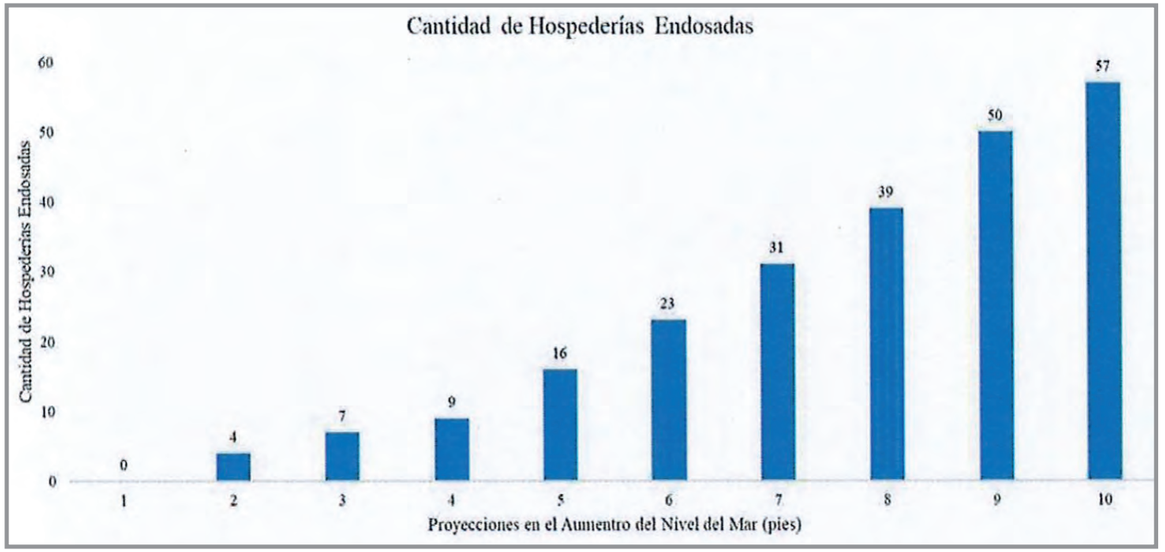



*Figura 9.* Hospederías endosadas impactadas según las proyecciones en el aumento del nivel del mar.

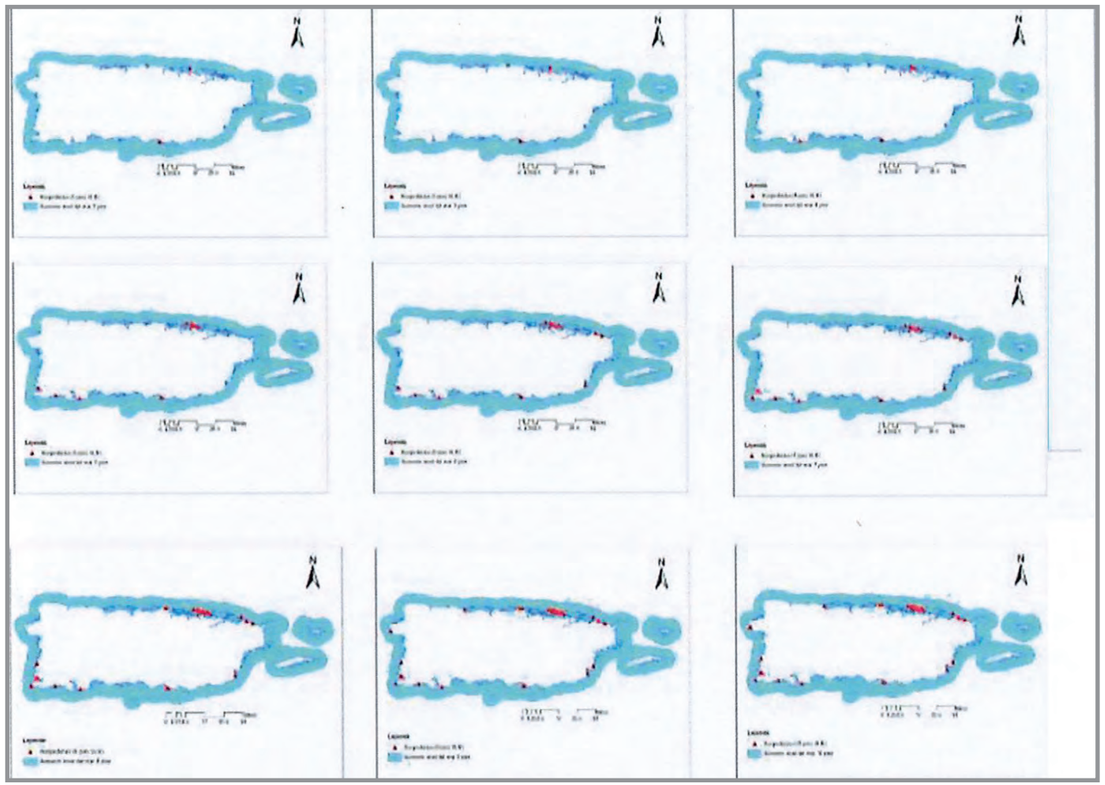


*Figura 10.* Distribución espacial de las hospederías endosadas impactadas según las proyecciones en el aumento del nivel del mar.

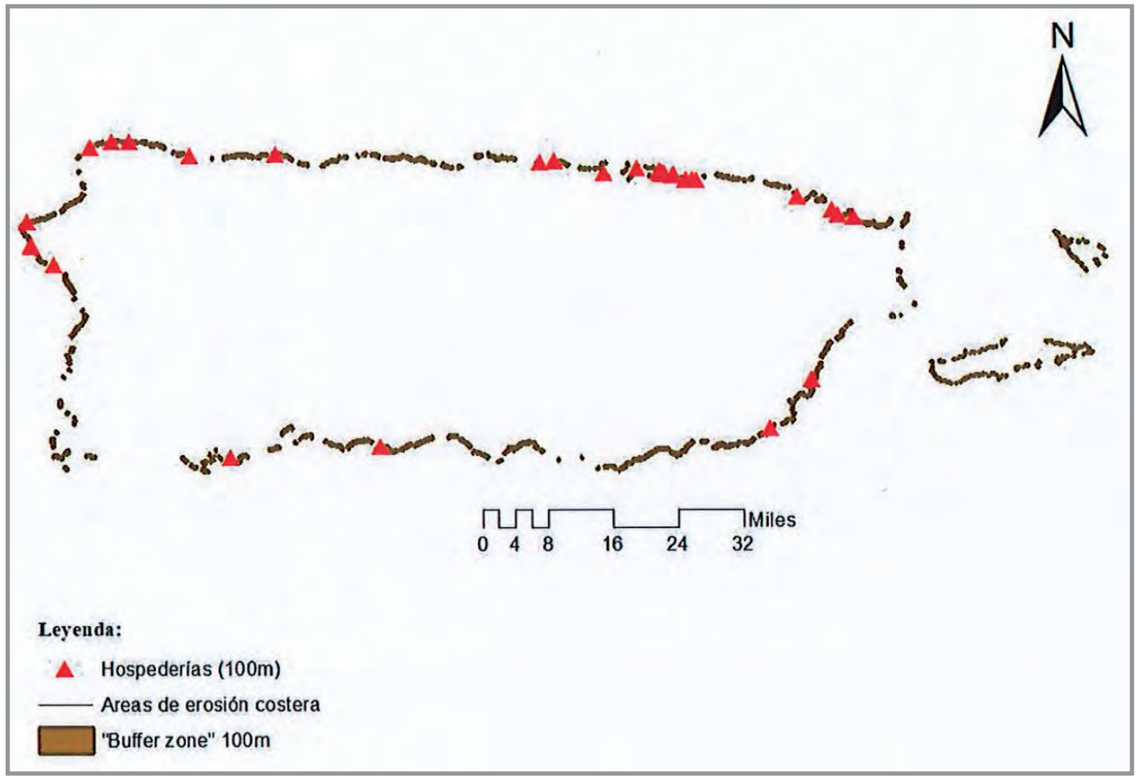



*Figura 11*. Hospederías endosadas en áreas de erosión costera.

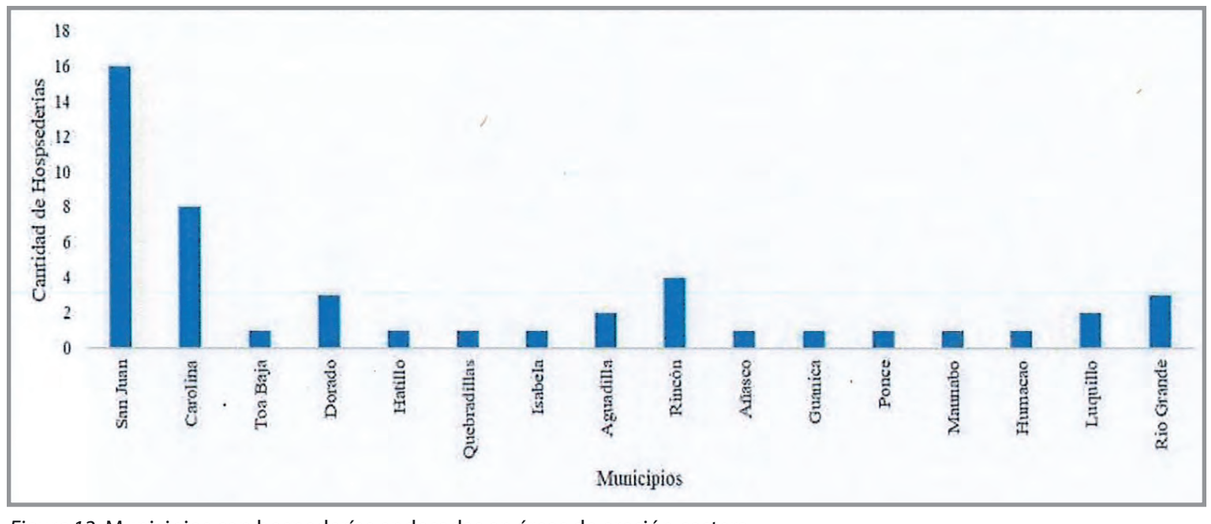



*Figura 12*. Municipios con hospederías endosadas en áreas de erosión costera.

La distribución de las 47 hospederías en áreas de erosión costera según las categorías definidas en el Reglamento de Hospederías de Puerto Rico de la CTPR fue: 29 Hoteles, 8 Casa de Huéspedes, 4 Resorts, 1 hostal, 1 Villa Turística, 1 Posada y 1 Alojamiento Suplementario de Corto Plazo. La categoría hotel resultó ser la que mayor cantidad de unidades tiene en áreas de erosión costera.

La figura 12 expone que la mayor cantidad de hospederías endosadas en áreas de erosión costera se ubican en el área metropolitana, particularmente, en los municipios de San Juan, Carolina y Dorado. Sin embargo, se destacan aquellas localizadas en el área oeste, principalmente en el municipio de Rincón.

Además de la erosión costera, se evaluó la migración de costas, que representa el movimiento de la línea de agua tierra adentro y expone el aumento en exposición a la infraestructura presente. La capa de información, provista por la dra. Maritza Barreta, de CoRePI-PR, está basada en datos que están más allá de los 4 metros de incertidumbre debido a las imágenes utilizadas. Para esta capa de información creada, se elaboró una zona de amortiguamiento (*buffer zone*) de 100 metros para identificar las hospederías en su cercanía. Tal y como muestra la figura 13, se identificaron once (11) hospederías endosadas con aumento en exposición ante eventos extremos.

La distribución de las 11 hospederías con aumento en exposición ante eventos extremos según las categorías definidas en el Reglamento de Hospederías de Puerto Rico de la CTPR fue: 6 hoteles, 3 casas de huéspedes, 1 parador y 1 villa turística. Por tanto, nuevamente, expone que son los hoteles los que se ubican en zonas con aumento en exposición ante eventos extremos.

En términos de localización, se observó mayor cantidad de hospederías con aumento en exposición a eventos extremos en los municipios de Rincón, San Juan y Salinas (figura 14).

## 5. Vulnerabilidad y susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones

En 2022, con el impacto del huracán Fiona, se demostró la necesidad de evaluar la susceptibilidad a deslizamientos ante eventos extremos de precipitación. El análisis de susceptibilidad a deslizamientos presentado a continuación se basó en la capa de información generada en el año 2020 por el *U. S. Geological Survey, "PR Landslide Susceptibility".* La figura 15 presenta la distribución general de la susceptibilidad a deslizamientos. Al evaluar la susceptibilidad a deslizamientos, se identificó una sola hospedería endosada ubicada en área de alto riesgo. En su mayoría las hospederías endosadas se encuentran en áreas de bajo riesgo a deslizamientos.

En términos de áreas inundables se utilizó la capa de información de FEMA (FIRM) y se encontró que 47 hospederías endosadas se encuentran en áreas de riesgo a inundación, lo que representa 30%. Resulta importante resaltar que la mayoría de estas hospederías se encuentran localizadas en la zona metropolitana y el noreste de la isla (figura 16).

## 6. Vulnerabilidad turística por sargazo

A medida que aumenta la temperatura de los océanos tiende a haber más eventos de sargazo. La deposición de sargazo en las playas afecta significativamente al turismo, tras reducir el disfrute de las playas por su deposición y los olores que se desprenden. En Puerto Rico comúnmente la llegada de sargazo ocurre durante los meses de verano, aunque cada año se va a adelantando un poco más. Precisamente en el año corriente, a inicio del mes de marzo, se ha comenzado a observar la primera llegada y deposición. En gran parte estos eventos de deposición significativa tienden a ocurrir en el área sur y el este de la isla, donde afectan hospederías endosadas, empresas de excursiones endosadas, marinas y balnearios, entre otros atractivos turísticos.

Para este análisis se utilizó la capa de información provista por el dr. William Hernández de *Sargassum Hot Spot*. Esta capa fue generada por el uso de imágenes Sentinel del año 2021 (figura 17).

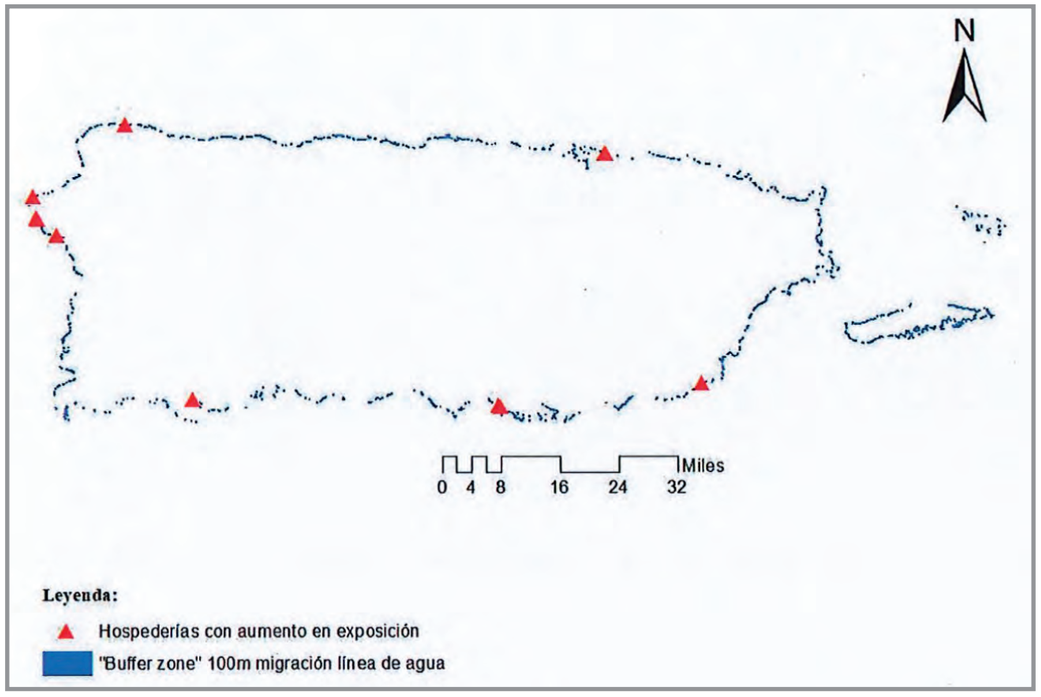



*Figura 13.* Hospederías endosadas con aumento en exposición a eventos extremos.

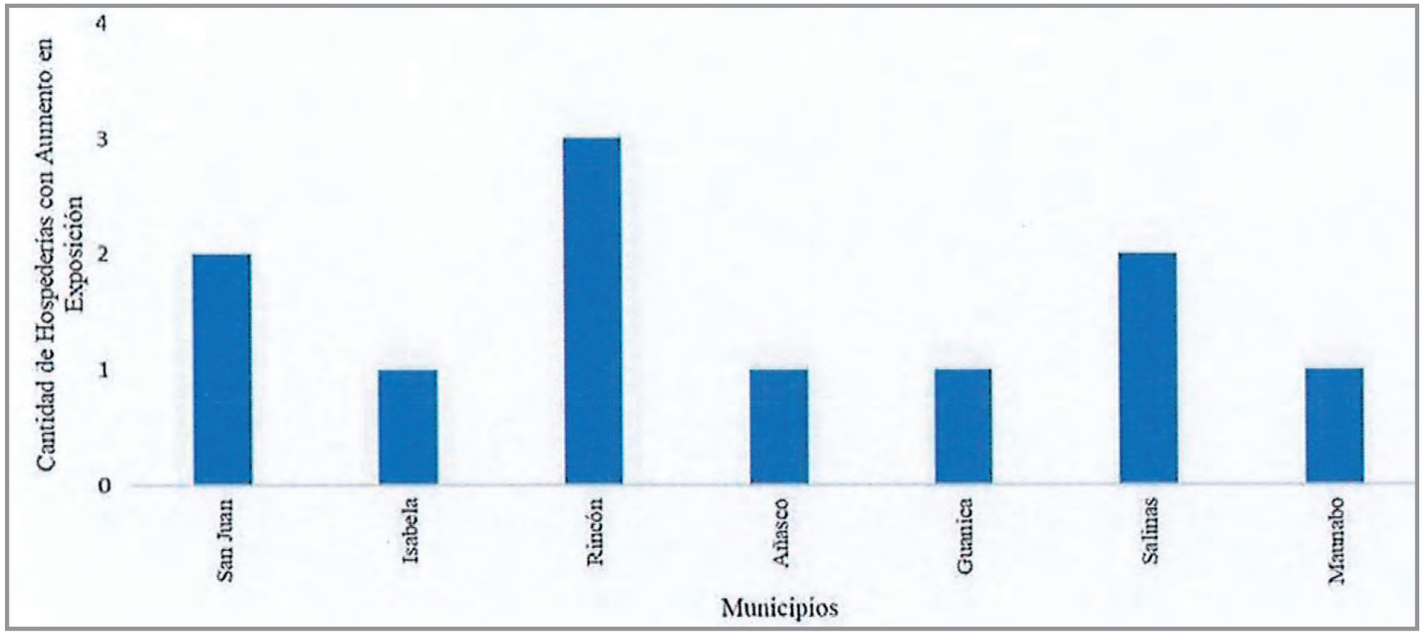



*Figura 14.* Municipios con hospederías con aumento en exposición ante eventos extremos.

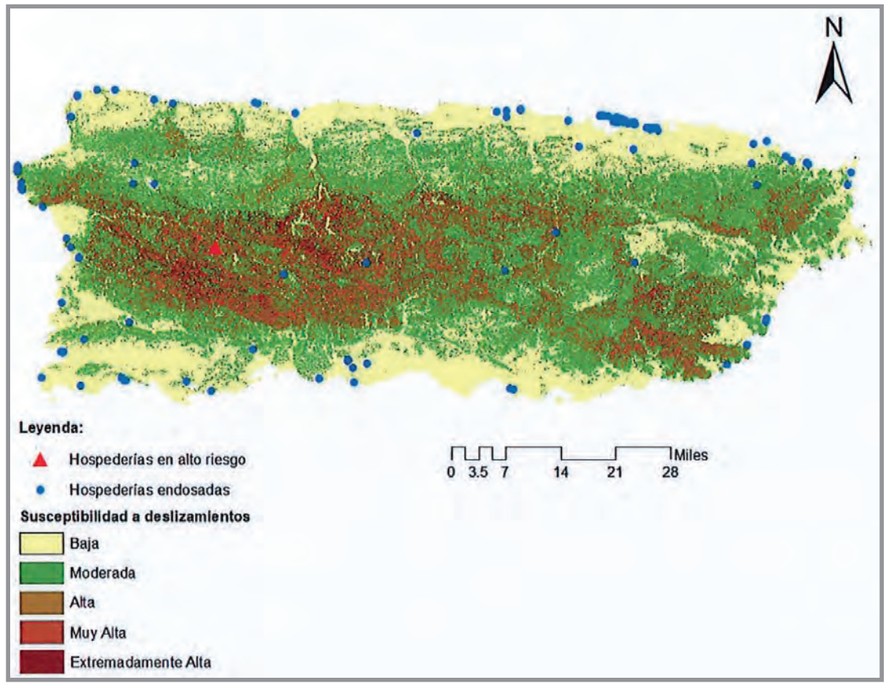



*Figura 15*. Susceptibilidad a deslizamientos y hospederías endosadas.

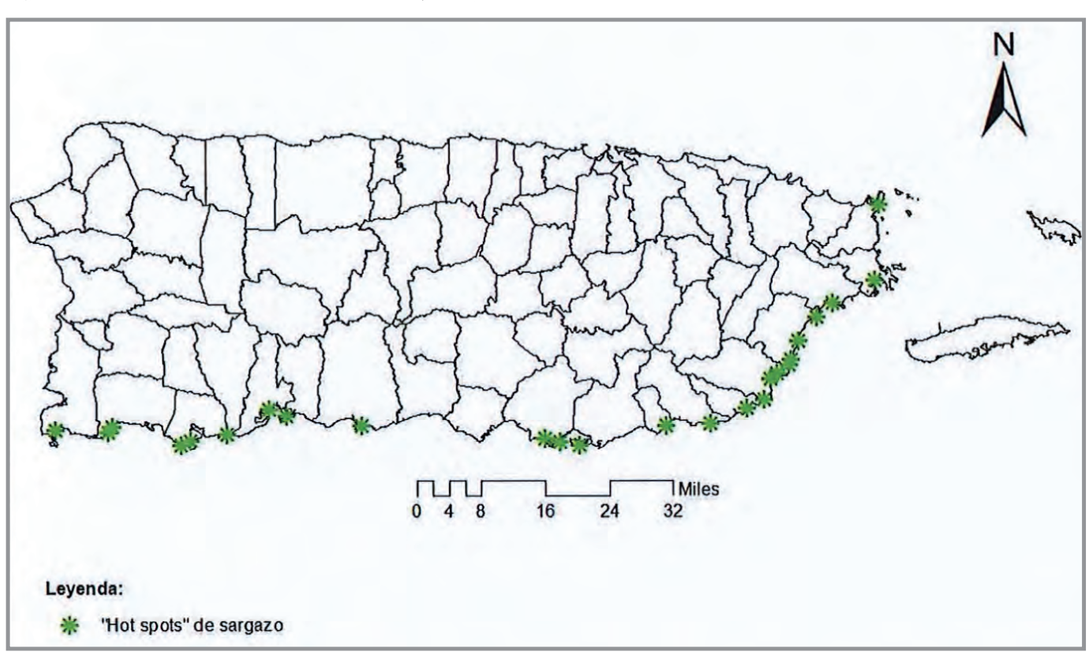



*Figura 17*. Distribución espacial de sargazo en Puerto Rico.

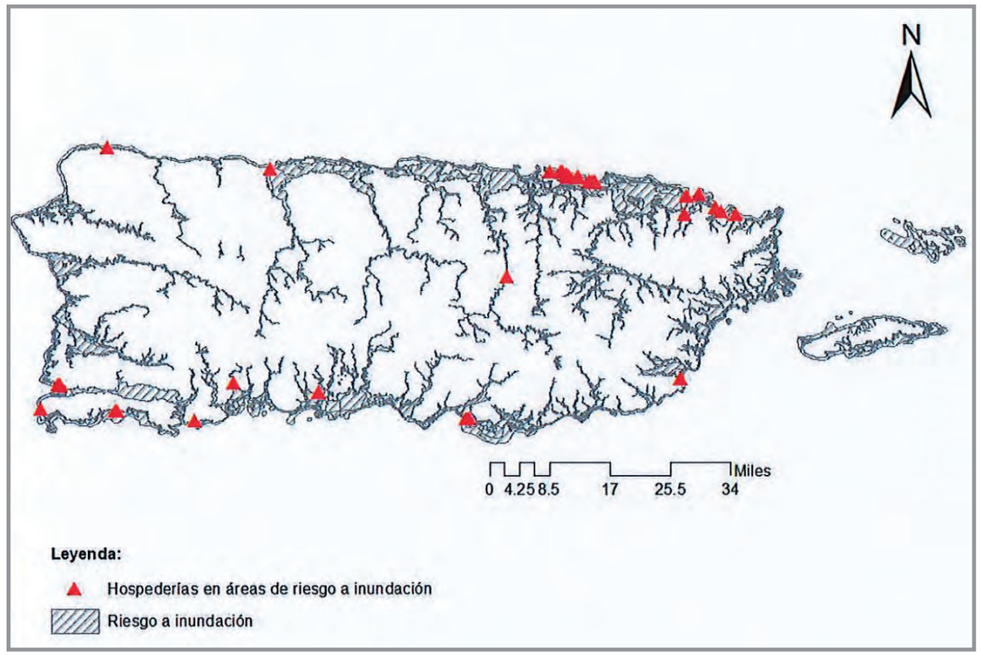



*Figura 16*. Hospederías endosadas en áreas inundables.

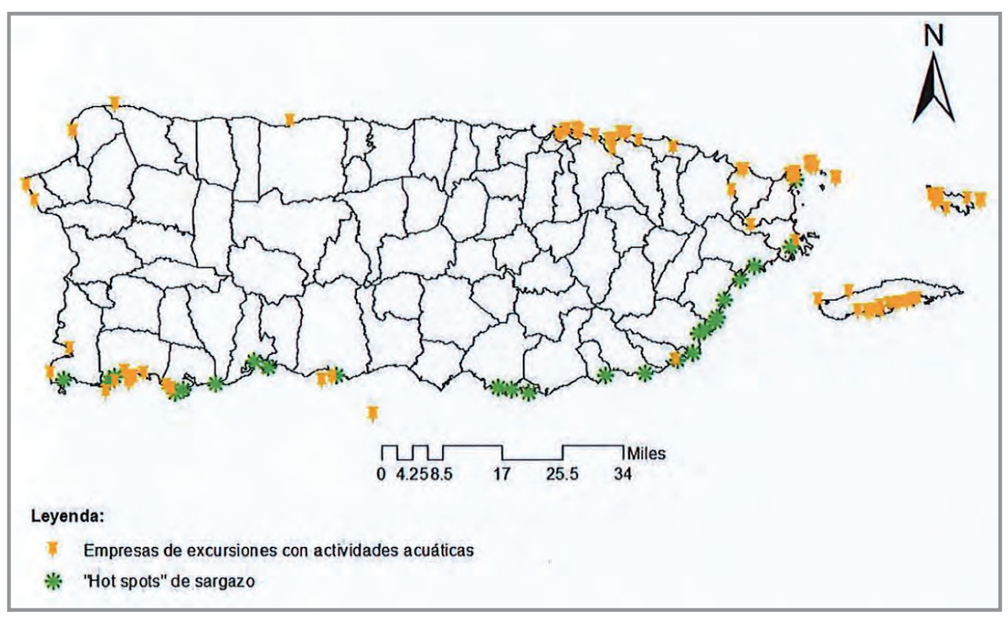



*Figura 18*. Áreas de mayor frecuencia de deposición de sargazo y empresas de excursiones endosadas asociadas a actividades acuáticas.

En este reporte se consideraron las hospederías, empresas de excursiones endosadas, así como balnearios y marinas que se ven afectadas por los eventos descritos. La figura 18 presenta las áreas de mayor frecuencia de deposición de sargazo y empresas de excursiones con servicios de actividades acuáticas. Del total de 157 empresas de excursiones endosadas, 39 se encuentran en áreas de mayor tendencia de deposición de sargazo.

Es importante resaltar, que, aunque el estudio de identificación de áreas de tendencias a mayor deposición de sargazo identifica, principalmente, las áreas del sur y este de la Isla, se ha observado también en áreas del noreste. Por consiguiente, además de las 39 empresas de excursiones previamente identificadas, se añaden 6 ubicadas en la zona norte, particularmente en el área metro. Se destaca la necesidad de estudio de tendencias históricas para identificar y realizar proyecciones de áreas *hot spots*.

Desde la perspectiva del segmento de alojamiento, del total de 154 hospederías endosadas, 129 se encuentran localizadas cerca de la costa (figura 19). Y dentro de esas 129 hay 23 hospederías localizadas en áreas con mayor tendencia a deposición de sargazo. La distribución de las 23 hospederías en áreas de tendencia a deposición de sargazo según su categoría fue la siguiente: 12 hoteles, 7 casas de huéspedes, 2 resorts, 1 *glamping* y 1 parador.

La figura 20 presenta la ubicación de marinas turísticas y balnearios en relación con áreas de tendencia a deposición de sargazo. De los 32 balnearios identificados, 16 se encuentran en áreas de mayor tendencia a deposición de sargazo. Por otra parte, de las 18 marinas identificadas, 13 se encuentran en áreas de mayor tendencia a deposición de sargazo.

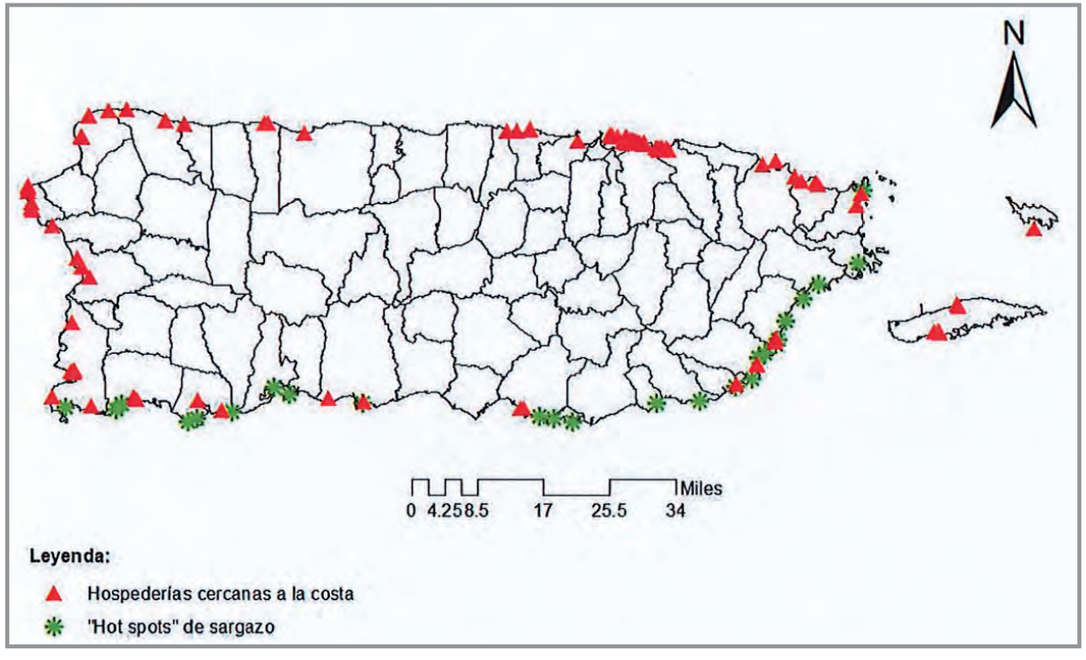



*Figura 19*. Áreas de mayor frecuencia de deposición de sargazo y hospederías endosadas en la costa.

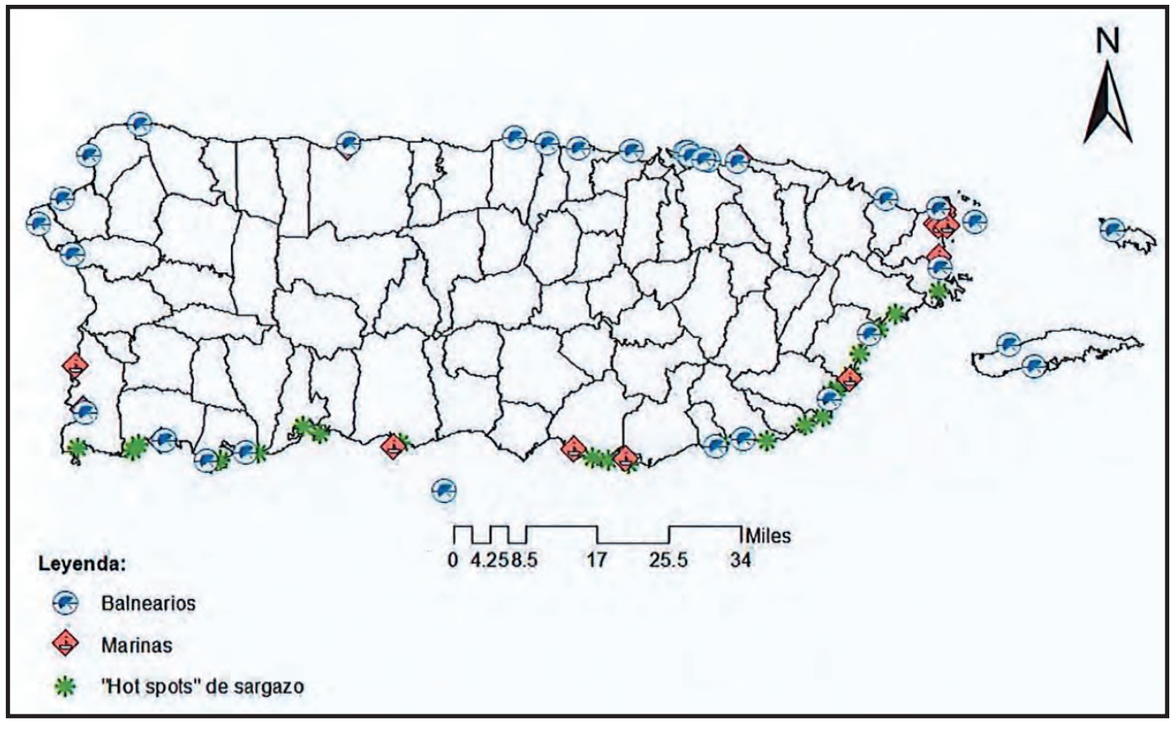



*Figura 20*. Áreas de mayor frecuencia de deposición de sargazo, balnearios y marinas.

### 7. Vulnerabilidad turística por vectores

El cambio climático tiene como potencial efecto el aumento en la propagación de vectores de enfermedades, tal y como los que se transmiten por mosquitos, como dengue, chikungunya y zyka, entre otros. Un caso de estudio respecto de impacto en el turismo de Puerto Rico que puede tener la propagación de vectores de enfermedades fue el brote de *zyka* de 2016. El anuncio del brote por parte del Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) representó para Puerto Rico, como destino turístico, una pérdida de $44.5 millones de dólares. El impacto mayor se observó en el renglón de eventos y convenciones, bajo el cual se registraron las cancelaciones de 35 grupos, lo que se tradujo en la pérdida de 42,000 noches de hotel en un periodo de 3 meses.

### 8. Vulnerabilidad turística por olas de calor

El aumento en la temperatura debido al cambio climático potencia la duración, frecuencia e intensidad de las olas de calor. Esto repercute en un aumento en la posibilidad de *heat stroke,* particularmente en actividades al aire libre. La industria del turismo debe prepararse ante estos eventos en los segmentos de guías turísticos y empresas de excursiones, así como desarrollar campañas de turismo interno para concienciar sobre dicho riesgo presentando medidas de cómo evitarlo. Actualmente, la CTPR tiene 157 empresas de excursiones endosadas y 480 de guías turísticos registrados que ofrecen experiencias al aire libre.

### 9. Vulnerabilidad turística por sequías y racionamiento de agua

Uno de los efectos del cambio climático es el constituido por eventos extremos, como las sequías experimentadas en Puerto Rico de 2014 a 2016. Para el análisis de vulnerabilidad, se evaluaron las hospederías endosadas en términos de abastecimiento de agua. No obstante, no se logró obtener información de 70 hospederías endosadas, por lo que los resultados presentados representan la información provista por 84 de ellas.

De 154 hospederías endosadas, 80 se suplen de agua potable provista por (AAA) y cuatro a través de pozos. Estas cuatro hospederías endosadas que se suplen de pozo para agua potable se encuentran ubicadas en el área sur de la isla.

Aun cuando falta información por obtener, podemos concluir que más de la mitad de las hospederías endosadas se suplen del sistema de AAA para agua potable, por lo que resulta imperativo conocer y monitorear el estatus de los embalses en términos de su vida útil. Por ejemplo, en gran parte las hospederías endosadas se encuentran en el área metro y se abastecen del embalse Carraízo, el cual tiene una fecha de estimación de sedimentación completa para el año 2062. Y aun cuando se reconoce que el dragado de este embalse se encuentra en vías de gestión, de mantenerse una tasa de sedimentación alta, su capacidad como abasto de agua potable no será sostenible.

La situación expuesta establece la necesidad de aumentar los esfuerzos hacia equipo de ahorro de agua, así como en el uso de cisternas para capturar agua de lluvia. A su vez, debe fomentarse la reforestación de las zonas activas de los ríos con la finalidad de reducir la tasa de sedimentación. La tabla 4 y la figura 21 presentan la cantidad de hospederías endosadas por cuenca hidrográfica y la distribución espacial de éstas, respectivamente. La mayor cantidad de hospederías endosadas se encuentra en la cuenca del Estuario de la Bahía de San Juan.

| *Cuencas hidrográficas* | *Cantidad de hospederías endosadas* |
|---|---|
| Río Grande de Loiza | 1 |
| Río Herrera - Las Cabezas de San Juan- Costa | 10 |
| Río Antón Ruíz - Río Fajardo | 1 |
| Río Maunabo - Río Humacao | 5 |
| Río Coamo - Río Seco | 2 |
| Río Matilde - Río Descalabrado | 6 |
| Río Yauco - Río Tallaboa | 2 |
| Quebrada Boquerón - Río Loco | 12 |
| Río Guanajibo | 2 |
| Río Yágüez | 3 |
| Río Grande de Añasco | 8 |
| Río Culebrinas | 9 |
| Quebrada Los Cedros - Río Camuy | 8 |
| Río Grande de Arecibo | 3 |
| Río Grande de Manatí | 1 |
| Río Cibuco | 5 |
| Río de la Plata | 3 |
| Río de Bayamón - Río Hondo | 1 |
| Estuario de la Bahía de San Juan | 66 |
| Vieques | 6 |
| Culebra | 1 |
| Total | 155 |

*Tabla 4*. Cantidad de hospederías endosadas según cuenca hidrográfica

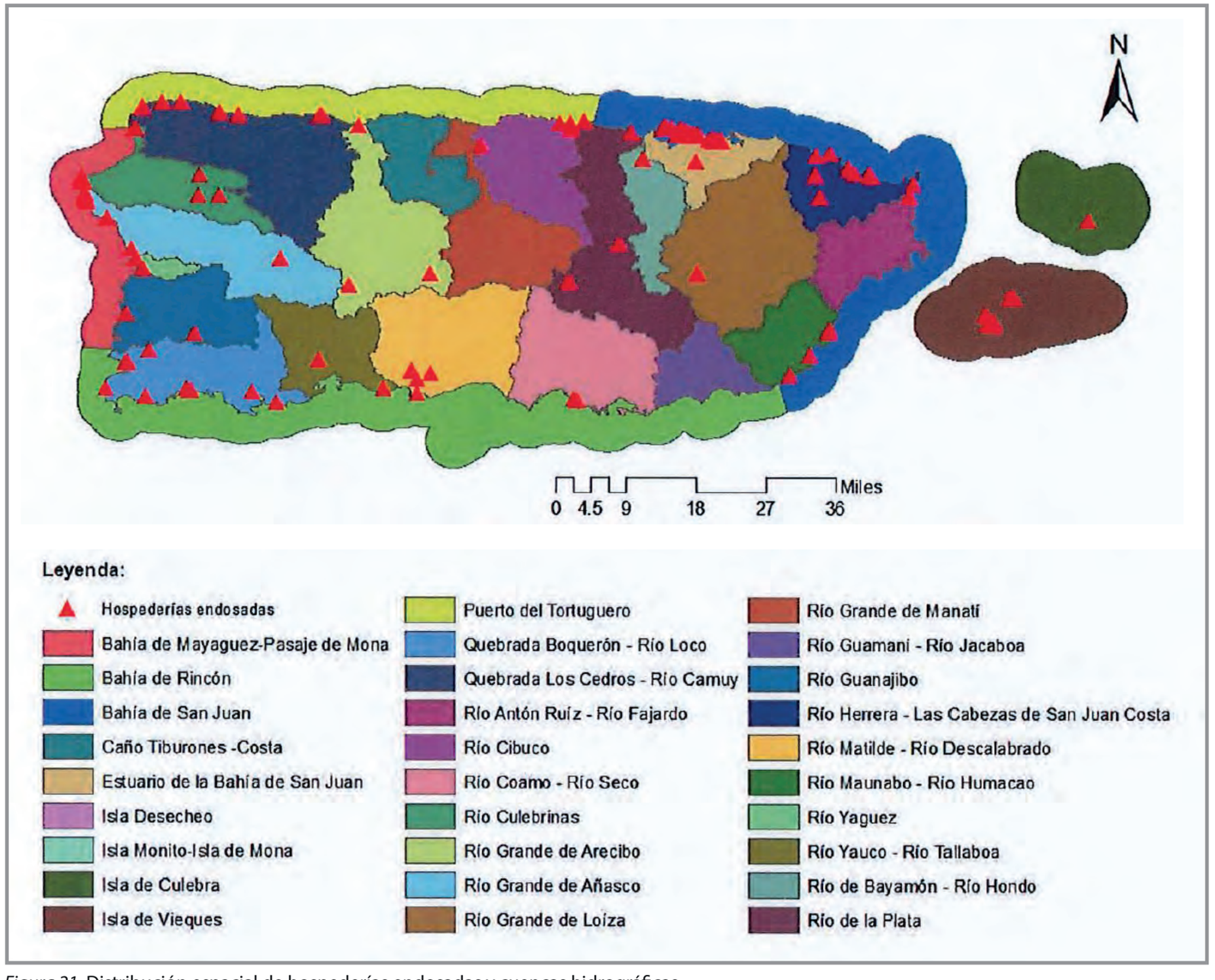



*Figura 21*. Distribución espacial de hospederías endosadas y cuencas hidrográficas

# CRÉDITOS

## Redacción e información técnica

Ángel David Rodríguez Vélez
Ángel J. Feliciano Reyes
Ariel E. Lugo
Áurea E. Rodríguez Santiago
Carlos E. Soutto Colón
David Sotomayor Ramírez
Fernando Abruña Charneco
Francisco Aguilar
Iván Baigés Valentín
José J. Hernández Ayala
Keyla Soto Hidalgo
Leonela Patricia Torrado González
Nylca J. Muñoz Sosa
Omar Gutiérrez del Arroyo
Sandra I. Villerrael Hernández
Wilmer O. Rivera De Jesús

## Edición

Leonela Patricia Torrado González - Planificadora
Sandra I. Villerrael Hernández - Redactora / Editora

## Apoyo de esfuerzos de participación pública

Eduardo Hernández Calo
Iralda M. Abarca Alomía
Jaime F. Villeta García
Leonela Patricia Torrado González
Sandra I. Villerrael Hernández

## Revisión, diseño e impresión

Editorial Plaza Mayor

## Revisión por miembros del CEACC

Ada Monzón
Anaïs Rodríguez
Carl-Axel P. Soderberg
Luis A. Ferrao
Manuel Cidre
Maritza Barreto Orta
Pablo Méndez Lázaro
Rafael Méndez Tejeda
Roy Torbert

## Colaboradores y apoyo técnico

Abexus
Alejandra Pérez Ortiz - DRNA
Amarilys Rosario Ortiz - DRNA
Antonio Ríos Díaz – DRNA
Applied Economics Clinic
Brad Weiner - UPR
Cristina Cabrera - DRNA
Francisco Berríos Portela - La Fortaleza
Gabriela Márquez
Iralda M. Abarca Alomía - DRNA
Jaime J. Green Morales - DDEC
Javier E. Pérez Lafont – UPR Utuado
Javier Rosario Pérez - Asesor legal
Nilda Luhring González - CTPR
Nildamarie Díaz - CTPR
Ricardo López Ortiz - DRNA
Samiris Suleimán
Vanessa I. Marrero Santiago - DRNA
Yasmín García Martínez - DDEC

## Fotos

CEACC

## Agradecimientos

El CEACC agradece el apoyo de las siguientes personas y entidades en los procesos relacionados con las vistas públicas en torno al borrador de P-MARCC:

Oficina de Informática del DRNA
Elid R. Ortega Orozco
José R. Meléndez de Jesús
José R. Maldonado Santana
Carlos Trabal Carlo
Israel López de Victoria Cortés
William Mercado Rosado

Oficina de Imprenta del DRNA
Zoraida E. Silva Rodríguez

Secretaría Auxiliar de Educación y Relaciones con la Comunidad del DRNA
Ingrid M. Flores Vallejo

Defensoría de Personas con Impedimentos - Oficina de Enlace con la Comunidad Sorda del Gobierno de Puerto Rico
Lcdo. Juan J. Troche Villeneuve
Celimar Rivera Cosme

Escuela de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico, recintos de Ponce y Mayagüez.
Israel Santiago Lugo

Oficina de Sistemas de Información de la UPR, Recinto de Carolina
Juan Cruz Reyes

Decanato de Administración de la UPR, Recinto de Humacao
Carlota Bonafont Colón

**Autorizado por la Oficina del Contralor Electoral OCE-SA-2024-06151**