

DEPARTAMENTO DE  
RECURSOS NATURALES  
Y AMBIENTALES  
**DRNA**



# EL COSTO DE LA INACCIÓN

## ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN PUERTO RICO

**Resumen Ejecutivo**

septiembre de 2024

# EL COSTO DE LA INACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA PUERTO RICO

## RESUMEN EJECUTIVO



¿Tiene preguntas sobre el significado de algún concepto utilizado en este estudio? Consulte el [glosario](#) en la [página 30](#).

### Introducción

El Comité de Expertos y Asesores sobre Cambio Climático (CEACC) de Puerto Rico, adscrito al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), reclutó a las firmas Estudios Técnicos, Inc. y Tetra Tech para realizar un estudio sobre el costo de la inacción climática para Puerto Rico. El estudio tiene como objetivo principal calcular los costos monetarios que resultarían si no se gestionan y ejecutan en el presente medidas de adaptación ante los efectos esperados del cambio climático.

La mayoría de los estudios revisados analizan el costo de la inacción bajo la óptica de la reducción de los gases de invernadero (Bueno, 2008; Nordhaus, 2017; Deloitte, 2022; Ackerman & Stanton, 2008; Bosello & Parrado, 2014). La acción en este marco conceptual es la implementación de una política de gases de invernadero para poder alcanzar una meta de detener el aumento de la temperatura global. Aunque este componente es necesario, muy probablemente es insuficiente para analizar el costo de inacción en Puerto Rico dada la gran cantidad de impactos que recibirá el archipiélago por el cambio climático. Puerto Rico, al igual que otros estados pequeños e isleños en desarrollo (SIDS por sus siglas en inglés), experimentará los impactos del cambio climático de forma

desproporcionada a su huella de carbón, ya que no tiene un impacto determinante sobre el aumento en temperatura a la vez que sufrirá mayores daños por el aumento del nivel del mar, la erosión y otros factores climáticos. Por tal razón, el análisis debe tomar en cuenta los costos de políticas de adaptación para mitigar los efectos del cambio climático en Puerto Rico. El CEACC solicitó específicamente que se evaluaran los daños asociados a varios parámetros de cambio climático, como el aumento en nivel del mar y huracanes catastróficos.

En este resumen ejecutivo se incluye información sobre los métodos utilizados en el desarrollo del ejercicio, así como los hallazgos (costos e impactos estimados), aspectos importantes que deben conocerse sobre el estudio (como aclaraciones sobre los datos y los supuestos utilizados), un breve resumen del panorama climático esperado para Puerto Rico y un resumen de las conclusiones del estudio. Este resumen ejecutivo se divide en las siguientes secciones:

- I. Modelo de Equilibrio General Computable Dinámico (DCGE, por sus siglas en inglés) – incluye los estimados monetarios para el costo de la inacción;

- II. Estimados no monetarios realizados como parte del estudio – menciona los otros métodos utilizados. Incluye los impactos estimados para sectores que no pudieron ser incluidos en el modelo DCGE pues históricamente no se han desarrollado valoraciones monetarias para estos;
- III. Panorama climático esperado para Puerto Rico; y
- IV. Resumen de las conclusiones del estudio.

Las aclaraciones y hallazgos para cada metodología se incluyen en la sección correspondiente al método en cuestión. Además, este documento incluye un glosario y una lista de referencias.

En este documento, por ser un resumen ejecutivo, se presentan los resultados para los escenarios con mayor probabilidad de ocurrencia. En el caso del modelo, se presentan los costos estimados para 2050, con un aumento en la temperatura global de 2°C sobre los niveles preindustriales.

En el caso del análisis espacial, se presentan los resultados para el aumento del nivel del mar de un pie y la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro, esto último en base al huracán María. En los casos en que ninguna infraestructura sea afectada en el escenario de aumento de un pie, se presenta el próximo escenario en el que sí sería afectada (3, 6 o 10 pies). Para conocer los hallazgos para cada escenario analizado en el modelo DCGE y el análisis espacial, mayor granularidad de datos y detalles de la metodología, se debe consultar el informe final del estudio.

Para facilitar el análisis al lector, el CEACC solicitó presentar el costo de la inacción

como una sola cifra. Luego de amplia discusión, se acordó que el Producto Interno Bruto (PIB) es el indicador que mejor resume el costo englobado para el país.

**El estudio encontró que el costo de la inacción para 2050 sería de una pérdida de \$379,270 millones en el PIB, de ocurrir un aumento de 2°C sobre los niveles preindustriales en la temperatura global. Este costo equivale al 18.3% del PIB acumulado entre el 2021 y 2050.**

#### Aspectos importantes sobre el estudio

- I **El análisis del costo de la inacción climática se hizo bajo el contexto de cuatro escenarios de aumento del promedio de la temperatura global: 1.5°C, 2°C, 3°C, y 4°C, sobre los niveles preindustriales.** El Informe Final y este resumen se enfocan en los escenarios con mayor confianza o probabilidad de materializarse, siendo estos los esperados en un corto y mediano plazo. Para ver el cuadro completo para cada escenario se deben consultar los apéndices del Informe Final.
- I **No todos los impactos del cambio climático pueden calcularse en términos monetarios debido a retos metodológicos o por la falta de disponibilidad de datos.** El modelo económico utilizado en el estudio (modelo DCGE) desagregó la economía del país en seis sectores principales, según englobados bajo las categorías del Sistema de Clasificación

de la Industria Norteamericana (NAICS, por sus siglas en inglés). Los seis sectores principales son: agricultura, manufactura, servicios, utilidades, construcción, y comercio al por mayor y al por menor. Debido a que otra información clave como la valoración de la biodiversidad y los ecosistemas solo tienen algunos datos cuantificados, éstos fueron analizados en términos no monetarios.

- I **El estudio no incluye los daños de introducir nuevas estructuras a áreas en riesgo.** Se estimó que por cada punto porcentual adicional que se añade a las estructuras en riesgo, aumenta el costo de inacción en \$6,400 millones.
- I **El estudio incorpora los mejores datos disponibles.** No obstante, es importante señalar que estos pueden estar limitados por varios factores, incluyendo bases de datos desactualizadas, falta de información a tiempo real o de alta resolución y retos asociados a los métodos de recopilación o fuentes de información. Por ejemplo, en el caso de la infraestructura gris, algunos de los datos geográficos preceden el paso del

huracán María y, por lo tanto, no reflejan los proyectos de recuperación realizados o proyectados. En el Apéndice 5 del Informe Final se incluyen los años de publicación de las bases de datos geográficos utilizados en el análisis espacial.

- I **El estudio está compuesto de cuatro informes desarrollados entre junio de 2023 y abril de 2024.** El informe final presenta una compilación de la información discutida en los informes anteriores, junto con algunas actualizaciones sobre los impactos del cambio climático.
- I **Las proyecciones presentadas en el estudio deben ser consideradas como escenarios, no como predicciones exactas.** Las tendencias climáticas futuras dependerán de varios factores, como las interacciones naturales, las actividades económicas, los comportamientos sociales, los avances tecnológicos y las decisiones políticas, entre otros. Es crucial seguir investigando para poder realizar evaluaciones climáticas precisas.

# I. MODELO DE EQUILIBRO GENERAL COMPUTABLE DINÁMICO

El modelo de equilibrio general computable dinámico (DCGE por sus siglas en inglés) es la herramienta de análisis principal usada para cuantificar los daños asociados con la inacción ante el cambio climático en Puerto Rico. El modelo económico utilizado en el estudio incorpora los parámetros climáticos dentro de un modelaje económico para estimar el costo socioeconómico que conlleva la inacción dentro del cambio climático. A base de la información disponible se incorporaron los siguientes parámetros de cambio climático: cuatro escenarios de aumento del nivel del mar (3, 5, 7 y 8 pies), y un estimado de la ocurrencia incremental (la ocasionada por el cambio climático, específicamente) de huracanes que afecten a Puerto Rico, con cuatro (4) posibles vertientes de intensidad de daños en conformidad con la ciencia disponible. La ocurrencia incremental se basó en los siguientes elementos:

- 1) la probabilidad incremental (el aumento en probabilidad atribuible al cambio climático) de ocurrencia de huracanes en el período analizado, partiendo de la distribución estimada por Vecchi et. al. (2021) a base de información de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), y
- 2) la probabilidad histórica de que huracanes mayores, de categoría 3 o mayor, desarrollados en la cuenca

## ¿Cómo se define el costo de la inacción en el estudio?

El costo de la inacción es **el costo de oportunidad de no haber implementado a tiempo medidas de adaptación a los efectos previsibles del cambio climático**. El mismo se estimó como la brecha entre el trayecto económico actual o "business as usual" (BAU) y el trayecto de un escenario de "resiliencia climática". El trayecto de BAU supone que no se llevan a cabo proyectos de adaptación climática, con excepción de una porción de los proyectos de energía renovable establecidos bajo las leyes 17-2019 y 33-2019. El trayecto de "resiliencia climática" supone que se llevan a cabo las medidas de adaptación climática necesarias en una etapa temprana para mantener el nivel de bienestar económico igual al del inicio del ejercicio.

**El costo de inacción se estimó en \$379,270 millones para el 2050, lo cual representaba el 18.3% del PIB acumulado entre el 2021 y 2050, en el caso de un calentamiento de 2°C en la temperatura global.** Esto implica que establecer medidas de adaptación debe ser prioritario para asegurar que Puerto Rico tiene la infraestructura necesaria para enfrentar los cambios que presentará este escenario.

norte del Océano Atlántico afecten a Puerto Rico.

La intensidad se modeló usando un índice de intensidad partiendo de la experiencia más reciente de un huracán catastrófico (huracán María). No se incluyen otros efectos esperados del cambio climático, aparte del aumento del nivel del mar y los

efectos esperados de huracanes mayores, por falta de proyecciones confiables.

Además, el modelo considera la política pública de cambio climático vigente en Puerto Rico al 30 de junio de 2023. Específicamente, se consideró la Ley 17-2019, Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico, y la Ley 33-2019, Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico, específicamente las secciones relacionadas a la política energética. Esto se debe a que la política pública sobre las fuentes de energía a utilizarse en el país es la única cuyos costos y beneficios se pueden cuantificar de forma razonable. El modelo DCGE incorpora un supuesto de que el 10% de toda la inversión proyectada para el cumplimiento con la meta energética se habrá ejecutado para el 2030, 30% para el 2040 y 75% para el 2050.

**El costo de inacción se evaluó para los sectores de la economía dentro de cada escenario de temperatura.** El modelo desagrega la economía en seis sectores principales siguiendo la clasificación industrial NAICS: agricultura, manufactura, servicios, utilidades, construcción y comercio al por mayor y al por menor. En cada uno de los escenarios de temperatura evaluados (1°C, 2°C, 3°C y 4°C sobre temperaturas preindustriales) se estimó el costo de inacción para cada uno de los sectores, que interactuaban simultáneamente dentro de la simulación de equilibrio para generar el impacto total.

#### Aspectos importantes sobre el modelo DCGE

- El modelo compara los distintos escenarios desarrollados a lo largo de un periodo de 79 años (2021-2100). En el

Informe Final y este resumen se destacan los resultados para 2050 ya que, en comparación con los de 2100, estos representan menos incertidumbre.

- Además del PIB, el Informe Final incluye métricas alternativas de los daños estimados, tales como la erosión del capital productivo, la pérdida en el valor de los activos de los individuos, y la pérdida en nómina, el impacto en turismo y la mortalidad en exceso. Estas métricas adicionales proveen el contexto necesario para interpretar el costo de inacción. El costo de inacción tiene múltiples dimensiones y podría ser subestimado si solo se considera la brecha en Producto Interno Bruto (PIB).
- Se utilizaron los estimados de estructuras, establecimientos e infraestructuras localizadas en la zona que sería inundada por el aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica, resultantes del análisis espacial, para construir un estimado de daños que fue incorporado en el modelo DCGE.
- El estimado también incorporó el valor esperado de daños por los huracanes mayores adicionales que se experimentarían en Puerto Rico debido a las tendencias climáticas recientes.

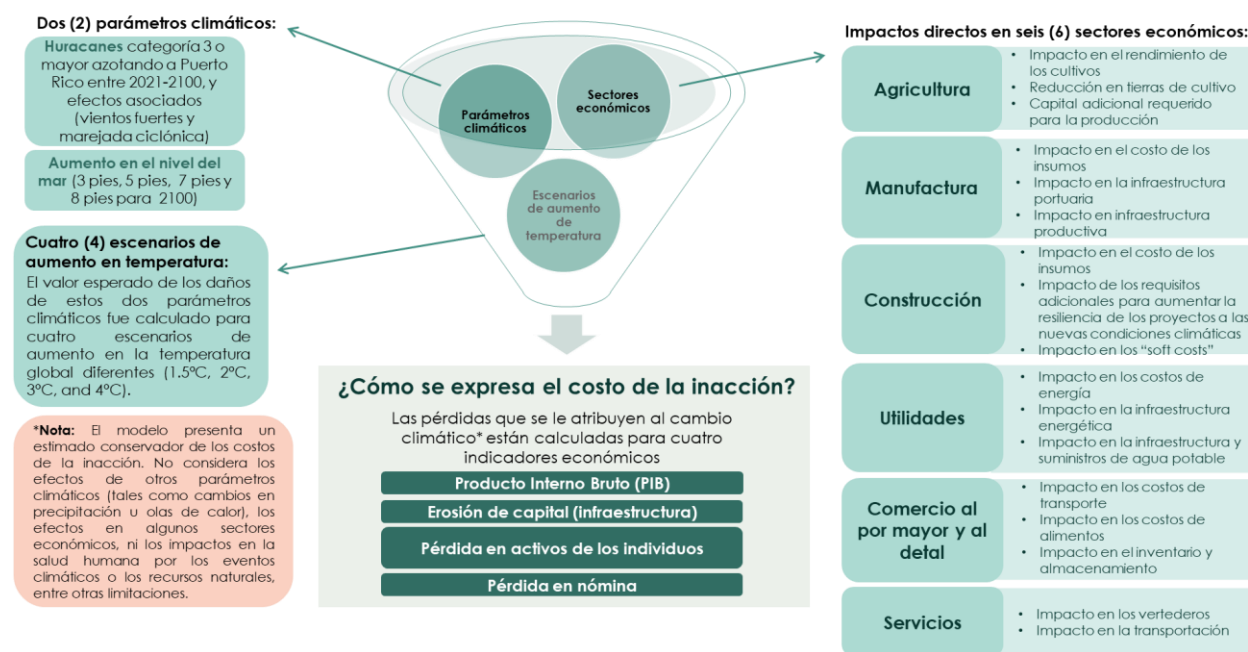
**El costo estimado de la inacción incorpora sólo los parámetros climáticos más confiables al momento de determinar los efectos del cambio climático en Puerto Rico, siendo estos el aumento del nivel del mar y la probabilidad de ser azotados por huracanes de categoría mayor (categorías 3, 4 o 5, junto con los daños causados por las marejadas ciclónicas y vientos fuertes de estos). Esto implica que, a pesar de que los costos de la inacción calculados**

representan la mejor estimación posible y que se emplearon los mejores datos disponibles, los resultados son conservadores, ya que excluyen eventos extremos como olas de calor y otros que podrían manifestarse debido al cambio climático.

A continuación, se presentan los costos para los seis súper-sectores de la economía según representada en el modelo, los

cuales son agricultura, manufactura, servicios, utilidades, construcción y comercio al por mayor y al por menor. El impacto del turismo no se incluye directamente en el modelo, mas los costos atribuibles a la inacción ante el cambio climático para este sector se calcularon por separado. Esto se debe a que el turismo comprende múltiples industrias a lo largo de los seis sectores, así como un componente externo (los visitantes).

Figura 1. El costo de la inacción, según conceptualizado en este estudio



## Turismo

Los impactos monetarios en el sector de turismo para el escenario de aumento de temperatura de 2°C, se estimaron en una pérdida directa, indirecta e inducida debido al impacto en la infraestructura de alojamiento de **\$3,685 millones**, lo cual impactaría **1,155 empleos** por año, lo que representa una nómina de **\$1,116 millones**.

Para un escenario de aumento de temperatura de 2°C, también se estima una **reducción del 5.3% de la llegada de turistas**

**al 2050**. Se estima que la reducción de la llegada de turistas se traduciría en una pérdida económica de **\$4,153 millones**, colocando en riesgo **748 empleos** cada año, que representan una nómina de **\$693.7 millones**.

En total, **\$7,839 millones de actividad turística** estarían en riesgo, representando unos **1,903 empleos por año**, para una nómina en riesgo de **\$1,810 millones**.

### Agricultura

El modelo DCGE examinó la pérdida de tierra y el valor diferencial de los insumos agrícolas ocasionado por una mayor dependencia en las importaciones. De acuerdo con los resultados, en un escenario de aumento de temperatura de 2°C **las pérdidas en PIB agrícola se estimaron en \$2,000 millones** para el 2050. Además, se estima que el sector sufrirá **\$13,340 millones en pérdidas de tierras, maquinaria, y equipos** para el mismo periodo.

### Manufactura

Ante un aumento de 2°C en la temperatura, este sector experimentaría una **pérdida de PIB de \$234,900 millones** de dólares.

En términos del impacto a la fuerza laboral, se estima que un aumento de 2°C en temperatura provocaría pérdidas en empleos en el sector de manufactura que representarían una **nómina de \$10,870 millones**.

### Servicios

En un escenario de aumento de temperatura de 2°C el costo de inacción en el sector de servicios para el año 2050 se estimó en **\$99,950 millones de PIB perdido**. Además, el sector experimentaría una pérdida de **\$21,000 millones en nómina**.

### Utilidades

En un escenario de aumento de temperatura de 2°C el costo de inacción para el sector de utilidades se estimó en **\$2,990 millones de PIB perdido**. El sector también experimentaría **\$2,320 millones en pérdida de infraestructura productiva**, y una **pérdida en nómina de \$580 millones**.

### Construcción

La construcción es el único sector que, de acuerdo con los resultados del modelo DCGE, **no experimentará una pérdida en actividad económica** debido a los parámetros climáticos considerados en el estudio. Esto puede estar relacionado a que las grandes pérdidas en infraestructura para otros sectores económicos provocarán un **aumento en proyectos de reconstrucción y mitigación**.

En un escenario de aumento de temperatura de 2°C, estimado para el 2050, las pérdidas en el PIB sector de construcción relacionadas a los **daños a la infraestructura productiva** del sector, que serían de **\$7,610 millones**.

### Comercio al por mayor y al detal

Se estimaron **pérdidas en PIB de \$37,080 millones** y de **\$9,100 millones** en nómina.

### Exceso de mortalidad

El cambio climático afectará la salud y las tasas de mortalidad de la población. La inacción ante este cambio introduce costos económicos que pueden redundar en una mayor mortandad con relación a un escenario resiliente<sup>1</sup>.

Se estima que la **tasa de mortalidad**, ante un escenario de aumento de temperatura de 2°C, ascenderá a **9.3**, lo que implica un exceso de mortalidad de **9,493 personas para 2050**, el cual ascendería a **22,081 personas** en el escenario de 4°C.

Esto es un estimado conservador, ya que el mismo se enfoca en la mortalidad en exceso atribuible a la inacción con respecto de los parámetros climáticos

<sup>1</sup> Varios estudios demuestran que existe una relación a largo plazo entre la mortalidad y el crecimiento del PIB (Dadgar y Norström, 2022; Rocco et al., 2021).



incluidos en el modelo, y no incluye muertes causadas directamente por estragos del clima.

### Daños relacionados a estructuras adicionales en riesgo

Los estimados del costo de la inacción producidos por el modelo DCGE asumen que no se construirán estructuras adicionales en zonas de riesgo. El daño

económico y de infraestructura de estas estructuras adicionales no está contemplado en el modelo DCGE y puede ser significativo. **En un escenario de aumento en temperatura de 2°C, en promedio, por cada punto porcentual adicional de estructuras en riesgo, el costo de la inacción ante el cambio climático aumentaría en \$6,400 millones.**

Figura 2. Algunos de los impactos socioeconómicos ante el cambio climático (para el escenario de 2°C)



## II. ESTIMADOS NO MONETARIOS REALIZADOS COMO PARTE DEL ESTUDIO

**Para complementar el análisis del modelo económico, se llevaron a cabo entrevistas, una revisión de literatura y análisis espaciales.** En este resumen ejecutivo se presentan los resultados para el aumento del nivel del mar de un pie y la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro. En los casos en que una infraestructura no sea afectada en el escenario de aumento de un pie, se presenta el próximo escenario en el que sí sería afectada (3, 6 o 10 pies). Para conocer los hallazgos para cada escenario analizado, mayor granularidad de datos y detalles de la metodología, el lector deberá consultar el informe final del estudio.

### **Análisis espacial**

Esta metodología se utilizó para cuantificar los impactos del aumento del nivel del mar (1, 3, 6 y 10 pies) y de las marejadas ciclónicas (asociadas con huracanes de categorías 4 y 5) sobre la infraestructura azul, verde y gris, los terrenos agrícolas y los sitios históricos, culturales y arqueológicos. En el informe final también se presentan los resultados de un análisis de volumen para las estructuras localizadas en las zonas que serán inundadas por el aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica.

Se utilizaron los estimados de estructuras, establecimientos e infraestructuras localizadas en la zona que sería inundada

por el aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica, resultantes del análisis espacial, para construir un estimado de daños que fue incorporado en el modelo DCGE.

En el Apéndice 5 del Informe Final se incluyen los años de publicación de los datos utilizados para la localización de los activos analizados.

### **Revisión de literatura**

Se utilizó para recopilar información cualitativa y cuantitativa de otros estudios sobre los costos de la inacción, el valor estimado de recursos naturales importantes, los escenarios de cambio climático, los efectos del cambio climático proyectados para distintas escalas (global, regional y local), los proyectos y políticas de adaptación locales y federales, los planes locales de mitigación de riesgos, y los planes locales de adaptación climática.

### **Entrevistas**

Se utilizaron para recopilar información cualitativa de informantes claves, tales como expertos locales sobre clima y representantes de entidades que manejan infraestructura crítica o que podrían tener datos sobre los diferentes costos que podría ocasionar, o que ha ocasionado, el cambio climático en Puerto Rico. Se realizaron 26 entrevistas.

## Hallazgos: impactos estimados para la infraestructura gris, verde y azul

### Impactos estimados para la infraestructura gris

#### Infraestructura de energía<sup>2</sup>

##### Aumento del nivel del mar

- I En un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, se proyecta que dos (15.4%) plantas generatrices pudieran ser inundadas, estas son: Costa Sur en Guayanilla (1.3% del terreno) y Complejo Aguirre en Salinas (0.2% del terreno).
- I No se proyecta que la inundación afecte subestaciones eléctricas en el escenario de aumento de un pie en el nivel del mar. Sin embargo, se podrían afectar 9.2 kilómetros (0.2%) de las líneas de transmisión (mayormente concentradas en San Juan y Cataño) y 14.9 kilómetros (0.1%) de las líneas de distribución (mayormente concentradas en Cataño, San Juan y Guánica).
- I A pesar de que ninguna de las subestaciones sería afectada en el escenario de aumento de un pie, en un escenario de aumento del nivel del mar de tres pies, se espera que cinco (1.3%) subestaciones (tres en San Juan, una en Guaynabo y una en Cataño). Además, tres (23.1%) plantas de generación de energía (Palo Seco, Costa Sur y Complejo Aguirre) serían afectadas en el escenario de 3 pies, todas en menos de 2.5% del terreno. También, 31.4 kilómetros (0.7%) de líneas de transmisión y 145.5 kilómetros (0.5%) de líneas de distribución sean

alcanzados por la inundación del aumento de 3 pies.

##### Marejada ciclónica

- I Para una marejada ciclónica generada por un huracán categoría cuatro, 6 (46.2%) plantas de generación de energía (Complejo Generatriz Central San Juan – 53.0% del terreno, AES – 22.7% del terreno, Complejo Aguirre – 17.1% del terreno, Mayagüez Planta – 12.4% del terreno, Costa Sur – 8.4% del terreno y Palo Seco – 7.6% del terreno), 13 (3.4%) subestaciones (cuatro en San Juan, cuatro en Ponce, una en Cataño, una en Guaynabo, una en Carolina, una en Salinas y una en Humacao), 97.7 kilómetros (2.3%) de líneas de transmisión y 523.4 kilómetros (2.0%) de líneas de distribución podrían estar en riesgo de inundación.

<sup>2</sup> Inicialmente se utilizaron geodatos sobre las plantas generatrices de energía que presentaban la ubicación de la infraestructura como puntos, en lugar de polígonos. Se obtuvo una capa, creada por la Autoridad de Energía Eléctrica, en formato de polígonos, por lo que se actualizó el análisis de riesgo para las plantas generatrices, con el fin de proveer datos más precisos.



provocada por un huracán categoría cuatro, los hallazgos demuestran que las pistas de cuatro aeropuertos (aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín en Carolina, aeropuerto Fernando Luis Ribas Dominicci en San Juan, aeropuerto José Aponte de la Torre en Ceiba y el aeropuerto Boquerón en Cabo Rojo) y todos los 12 puertos marítimos podrían ser alcanzados por la inundación (San Juan, Ponce, Peñuelas, Ceiba, Guayanilla, Guánica, Aguadilla, Fajardo, Yabucoa, Guayama, Mayagüez y Arecibo).

### Infraestructura de transporte

#### Aumento del nivel del mar

- En un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, el puerto marítimo de Ponce, junto con 32 puentes (1.4%: San Juan, 25.0%, Carolina, 18.8%, y Guánica, 9.4%) y 79.2 kilómetros (0.2%) de carreteras podrían ser alcanzados por la inundación.
- Ninguna de las pistas de los aeropuertos sería afectada por el aumento de un pie. Mientras que, en un escenario de aumento del nivel del mar de tres pies, la pista del Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (SJU), ubicado en Carolina, sería alcanzada por la inundación<sup>3</sup>.



Es importante señalar que, debido a la interconexión de la infraestructura de transporte, los impactos climáticos podrían afectar el acceso y la movilidad de

#### Marejada ciclónica

- Al analizar los impactos proyectados para una marejada ciclónica

<sup>3</sup> Los geodatos disponibles para el análisis sobre los aeropuertos solo incluyen las pistas. Sin embargo, los daños por el aumento del nivel del mar podrían incluir otra infraestructura esencial para el funcionamiento de estos, como daño a las líneas de comunicación y electricidad, tanques de combustible, entre otros.

personas, servicios y bienes, especialmente durante emergencias.

### Agua potable y aguas sanitarias

#### Aumento del nivel del mar

- En cuanto al agua potable, los resultados del estudio demuestran que, en un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, estarían en riesgo de inundación 14.1 kilómetros (0.1%) de las líneas de distribución de agua potable (32.9% en Cataño, 15.9% en San Juan y 15.0% en Guánica). Ninguna de las plantas de filtración sería afectada en los cuatro escenarios de aumento del nivel del mar. En el escenario de tres pies de aumento, un pozo localizado en Guayama y una estación de bombeo serían alcanzados por la inundación.
- De la infraestructura de alcantarillado sanitario, 1.7 kilómetros (0.2%) de tuberías de alcantarillado por presión (ubicadas mayormente en Carolina, Guánica y Loíza) y 14.1 kilómetros (0.2%) de tuberías de alcantarillado por gravedad (mayormente concentradas en Cataño, San Juan y Guánica), y tres (0.3%) de las estaciones de bombeo de aguas residuales (San Juan, Fajardo y Cataño) estarían en riesgo de inundación en el escenario de un pie de aumento. Ninguna de las plantas de tratamiento sería alcanzada por la inundación ocasionada por los aumentos de uno y tres pies, mientras que en el escenario de seis pies dos plantas, en Cabo Rojo y Guánica, quedarían bajo agua.

#### Marejada ciclónica

- La siguiente infraestructura de agua potable está en riesgo de inundación por la marejada ciclónica asociada con un huracán categoría cuatro: 419.8 kilómetros (1.7%) de líneas de distribución (concentradas mayormente en San Juan y Cataño), tres (0.6%) pozos (en Guayama, Arroyo y Yabucoa), cuatro (0.3%) estaciones de bombeo (en San Juan, Loíza, Luquillo y Salinas).
- En cuanto a la infraestructura de alcantarillado sanitario, dos plantas de tratamiento de aguas residuales (ubicadas en Cabo Rojo y Guánica), 68 (6.3%) estaciones de bombeo (20.6% en San Juan y 11.8% en Cabo Rojo), cerca de 70.6 kilómetros (7.2%) de líneas de alcantarillado por presión (concentradas mayormente en Cabo Rojo, San Juan y Loíza), y 299.3 kilómetros (3.6%) de líneas de alcantarillado por gravedad (concentradas mayormente en San Juan y Carolina), serían inundadas por la marejada de un huracán categoría cuatro.





### Infraestructura de manejo de residuos

De los 61 vertederos (incluye los cerrados y los abiertos) ubicados a través de Puerto Rico, el vertedero de Cabo Rojo es susceptible a daños por inundación en un escenario de aumento del nivel del mar de tres pies, así como en un escenario de marejada ciclónica ocasionada por un huracán categoría cuatro.

A pesar de que el vertedero está cerrado actualmente, existe un riesgo de contaminación ambiental ocasionado por la inundación asociada a la marejada ciclónica.



### Infraestructura de telecomunicaciones

#### Aumento del nivel del mar

- I En términos de infraestructura de telecomunicaciones, se estima que ninguna de las 743 antenas, o los terrenos donde ubican, se afecten por la inundación causada por el aumento de un pie en el nivel del mar. Mientras que, se proyecta que los terrenos donde ubican 11 antenas (11.5%) quedarán sumergidos en un escenario de aumento del nivel del mar de tres pies.

#### Marejada ciclónica

- I Por otra parte, bajo un escenario de marejada ciclónica provocada por un huracán categoría cuatro, los terrenos donde ubican 25 antenas (3.45%), la mayoría ubicadas en Ponce (24.0%), Mayagüez (16.0%) y Cataño (16.0%), sean impactados por la inundación.



### Infraestructura comercial

#### Aumento del nivel del mar

- I De la infraestructura comercial identificada a través del estudio, en un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, se podrían afectar por la inundación dos (0.2%) supermercados ambos ubicados en

San Juan y 26 (1.0%) parques industriales distribuidos a través de Mayagüez, Fajardo, Naguabo, Río Grande, Guaynabo, Luquillo, San Juan y Vieques. En términos de negocios, se proyecta que estén en riesgo por esta misma inundación 102 (1.0%) negocios, ubicados principalmente en Cabo Rojo (20), Cataño (14), San Juan (12), Loíza (11) y Lajas (9).

### Marejada ciclónica

- Por último, debido al impacto por la marejada ciclónica asociada con un huracán categoría cuatro, se podrían afectar cinco (1.7%) centros comerciales (dos en San Juan, dos en Carolina y uno en Loíza), siete (1.35) farmacias (dos en San Juan, dos en Cataño y una en Guaynabo, Juana Díaz y Ponce), 26 (2.8%) supermercados (concentrados mayormente en San Juan, Cabo Rojo, Cataño y Guaynabo), 19 (1.9%) estaciones de gasolina (concentrados mayormente en San Juan), 81 (3.1%) parques industriales (23.5% en Mayagüez, 17.3% en San Juan y 16.0% en Carolina), y 2,915 (3.1%) negocios (33.8% en San Juan, 9.3% en Cataño y 9.0% en Carolina).



### Infraestructura crítica

#### Aumento del nivel del mar

- En términos de infraestructura crítica, un centro *head start* en Guánica podría ser afectado por la inundación del aumento del nivel del mar de un pie.
- Mientras, en un escenario de aumento del nivel del mar de tres pies, se proyecta que la inundación podría afectar 14 instalaciones críticas, incluyendo siete *head starts*, tres escuelas públicas, una estación de policía, un refugio, una universidad y un centro de salud. De estas instalaciones, la mayoría están ubicadas a través de San Juan, Cataño y Salinas.

#### Marejada ciclónica

- Los hallazgos del estudio reflejan que cuatro centros de salud, 12 escuelas públicas, 21 centros *head start*, una universidad, una plaza pública, cuatro

estaciones de policías, una estación de bomberos, y siete refugios podrían sufrir daños debido al impacto por marejada ciclónica asociada con un huracán categoría cuatro. La mayoría de estas instalaciones están en San Juan, Cataño, Guaynabo, Carolina, Loíza y Ponce.



### Infraestructura crítica

Aumento del nivel del mar de **1 pie:**

- 1 Head Starts

Aumento del nivel del mar de **3 pies:**

- 7 Head Starts
- 3 Escuelas públicas
- 1 Estación de policía
- 1 Refugio
- 1 Universidad
- 1 Centro de salud

---

Marejada ciclónica generada por un **huracán categoría 4:**

- 21 Head Starts
- 12 Escuelas públicas
- 7 Refugios
- 4 Estaciones de policía
- 4 Centros de salud
- 1 Universidad
- 1 Plaza pública
- 1 Estación de bomberos

mantener los frentes y defensas marítimos.

- I Para un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, se proyecta que un hotel en San Juan y cinco marinas comerciales, en San Juan Fajardo, Salinas, Lajas y Cabo Rojo, podrían sufrir daños provocados por la inundación. En términos de zonas de interés turístico (ZIT), se espera que la totalidad de estas esté en riesgo de quedar parcial o totalmente bajo el nivel del mar, con excepción de la ZIT de Coamo, para un total de 15 ZITs en riesgo.

### Marejada ciclónica

- I En el caso de los impactos proyectados a consecuencia de la marejada ciclónica provocada por un huracán categoría cuatro, se espera que estén en riesgo de daños 28 hoteles, ubicados principalmente en San Juan, Carolina y Río Grande, cuatro marinas comerciales, ubicadas en Fajardo, Guayama, Salinas y Cabo Rojo, así como 15 zonas de interés turístico. Las ZIT más afectadas serían las de Naguabo, Humacao, San Juan, Aguirre y Bahía de Jobos.

## Infraestructura turística

### Aumento del nivel del mar

- I Los impactos generales del aumento del nivel del mar en la industria del turismo se pueden resumir en erosión costera, pérdida de área de playa y aumento de costos para proteger y





arqueológicos (11.6% en Vieques, 10.7% en Loíza, y 10.2% en Cabo Rojo) que podrían estar en riesgo de daños.



### Sitios histórico-culturales y arqueológicos

Se espera que los eventos extremos continúen ocasionando daños en los sitios históricos y culturales, incluyendo el colapso de estructuras, la falla de tuberías en edificios históricos, el derrumbe de paredes ocasionado por inundaciones, el aumento de la tasa de erosión y la inundación de museos, archivos y sitios arqueológicos (Ezcurra et al., 2018).

### Aumento del nivel del mar

- Los hallazgos del estudio demuestran que la inundación del aumento del nivel del mar de un pie podría afectar cerca de 49 sitios arqueológicos (concentrados mayormente en Cabo Rojo, Salinas, Vieques y Loíza) y cinco sitios históricos o culturales (dos en San Juan, uno en Culebra, uno en Rincón y uno en Naguabo).

### Marejada ciclónica

- Al evaluar el impacto de la marejada ciclónica asociada con un huracán categoría cuatro, se identificaron 16 sitios históricos o culturales (25.0% en Ponce) y cerca de 225 sitios

### Municipios costeros

#### Aumento del nivel del mar

- En los cuatro escenarios de aumento del nivel del mar, los 44 municipios costeros de Puerto Rico serán afectados por la inundación, además de Bayamón y Canóvanas, a pesar de no contar con línea de costa. Loíza sería el municipio más afectado por la inundación del aumento del nivel del mar de un pie, con un 13.4% de su territorio inundado. En los escenarios de seis y diez pies Hormigueros y Trujillo Alto se afectarían también por la inundación.
- Los hallazgos del estudio demuestran que sobre 1,865 estructuras podrían ser impactadas por la inundación provocada por un aumento del nivel del mar de un pie. Los cinco municipios más afectados serían Cataño, San Juan, Salinas, Cabo Rojo y Guánica.

- Al considerar el volumen de las estructuras<sup>4</sup>, los municipios más afectados por un aumento del nivel del mar de un pie serían Cataño, San Juan, Carolina, Cabo Rojo y Barceloneta.

### Marejada ciclónica

- Los 44 municipios costeros serían afectados en el escenario de una marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro. Los municipios más afectados serían Loíza (64.5% de su territorio) y Cataño (41.1%), seguidos por Río Grande (13.5%), Ceiba (12.4%) y Humacao (11.9%).
- Por otra parte, se proyecta que la marejada ciclónica asociada con un

huracán categoría cuatro podría impactar 32,858 estructuras, la mayoría ubicadas en San Juan, Cataño, Salinas, Loíza y Carolina.

- Al considerar el volumen de las estructuras<sup>5</sup>, los municipios más afectados por la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro serían San Juan, Carolina, Cataño, Ponce y Loíza.

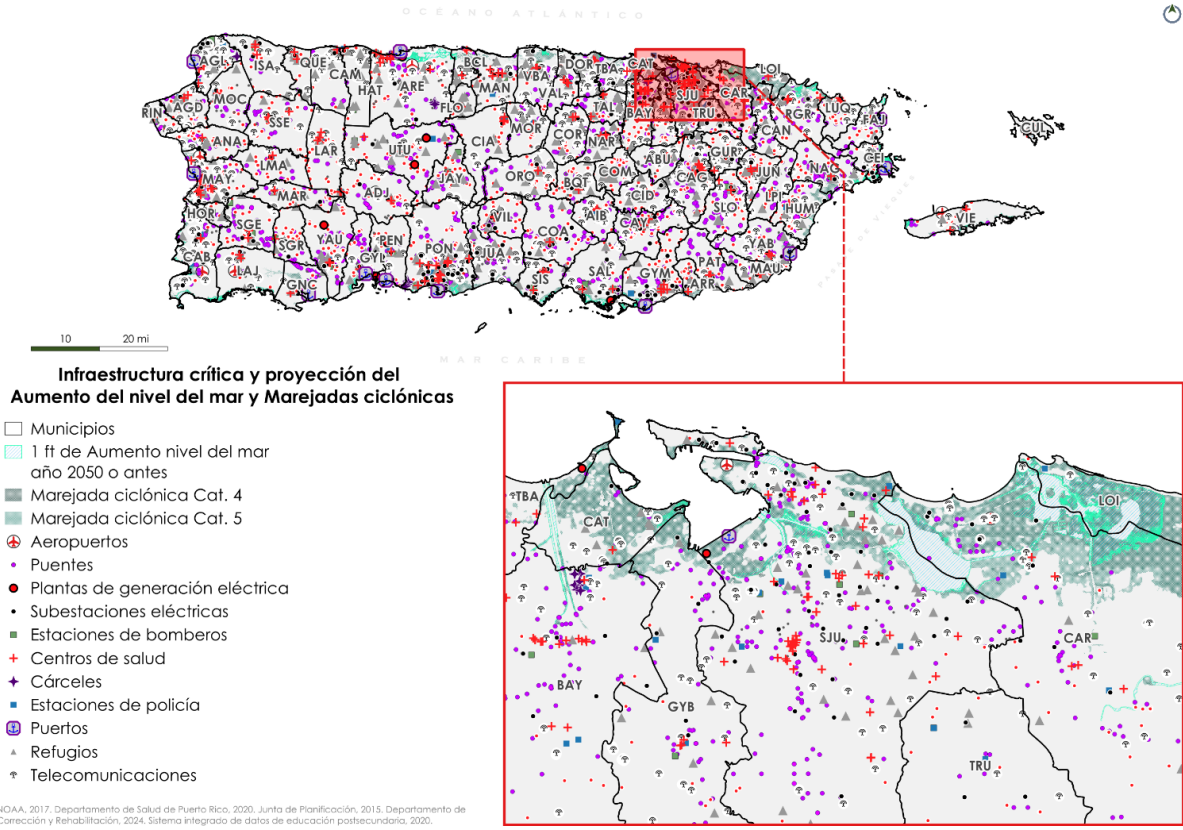
En el mapa a continuación se presentan algunas de las instalaciones consideradas como críticas junto con las áreas que serán afectadas por la inundación provocada por el aumento del nivel del mar de un pie y las marejadas ciclónicas de huracanes categorías cuatro y cinco.

**“En todos los escenarios de aumento del nivel del mar, se espera que los 44 municipios costeros de Puerto Rico se afecten por la inundación, más Bayamón y Canóvanas. Hormigueros y Trujillo Alto se afectarían en los escenarios de seis y diez pies.”**

<sup>4</sup> Los resultados del análisis de volumen representan el volumen total de las estructuras que serán afectadas por el aumento del nivel del mar, no el volumen específico que se vería afectado por la inundación.

<sup>5</sup> Los resultados del análisis de volumen representan el volumen total de las estructuras que serán afectadas por la marejada ciclónica, no el volumen específico que se vería afectado por la inundación.

Mapa 1. Infraestructura crítica afectada por la inundación producida por un aumento en el nivel del mar de 1 pie y por marejadas ciclónicas de huracanes categorías 4 y 5



### Impactos estimados para la infraestructura verde y azul (entorno natural)

Aunque la importancia de los ecosistemas naturales ha sido estudiada y documentada, es difícil expresar sus beneficios en términos monetarios. Cabe destacar que, calcular los costos monetarios asociados al impacto del cambio climático en estos ecosistemas es aún más complejo. A continuación, se incluyen los retos principales:

- Los estudios globales sobre el costo de la inacción climática tienden a excluir los ecosistemas debido a los retos e incertidumbres asociadas con la valoración económica de estos (Alberti, 2024).

- Los retos principales al evaluar los costos monetarios de los impactos climáticos en la biodiversidad y los ecosistemas incluyen las diferencias en cómo las especies responden (Orgiazzi et al., 2016), la disponibilidad limitada de datos (Borgelt et al., 2022), los dilemas éticos relacionados con la valoración de la naturaleza (Batavia & Nelson, 2017) y la falta de precios de mercado que puedan servir como indicadores confiables para estimar los beneficios económicos de los ecosistemas (Dasgupta, 2021).

- Los métodos de valoración suelen estimar los ingresos generados por una actividad, en lugar del valor que se perdería a causa de esta (Villamil, 2005). Como resultado, el valor de los servicios ecosistémicos difiere del valor que se perdería si no se tomaran medidas para preservar los ecosistemas.

## Ecosistemas

Existe un alto nivel de confianza de que el cambio climático está afectando los ecosistemas (Méndez-Lázaro et al., 2023). A continuación, se presenta un resumen de los impactos recopilados a través de la revisión de literatura.

- Si las emisiones globales continúan aumentando, los costos globales proyectados podrían ascender a \$9.9 trillones para el 2050, debido al deterioro de algunos servicios ecosistémicos claves (polinización, protección costera, rendimiento hídrico, productividad forestal, productividad pesquera y almacenamiento de carbono) (Johnson et al., 2020).
- En Puerto Rico, el cambio climático afectará los ecosistemas acuáticos, marinos y terrestres (Carruba et al., 2022).
- Se espera que el aumento del nivel del mar degrade los ecosistemas y desplace especies que sean sensibles a la sal (Freeman et al., 2024).
- Los cambios en precipitación alterarán los hábitats en los cuerpos de agua y afectarán la distribución de especies (Campos-Cerqueira & Aide, 2021).
- Las sequías frecuentes podrían afectar la capacidad de los humedales costeros

para persistir en un clima cambiante (Yu et al., 2019). Además, las sequías prolongadas pueden crear condiciones favorables para incidentes más intensos de incendios forestales (Gould, 2013).

- Los ciclones tropicales pueden impactar la cubierta forestal, destruir hábitats de especies y aplanar los perfiles de las playas (Zimmerman et al., 2020).
- Los bosques y árboles urbanos también son muy afectados por las tormentas fuertes. Los árboles son un elemento clave de infraestructura verde pues secuestran carbono de la atmósfera, reducen el ruido y mejoran la calidad del aire, entre otros beneficios (Tavárez & Elbakidze, 2021). Luego del huracán María, los bosques urbanos en San Juan perdieron 21% de los troncos que estaban en pie, su salud había declinado y su vegetación había sido alterada significativamente (Olivero-Lora, et al., 2022).
- El aumento en temperatura presenta una amenaza para la sobrevivencia de las especies, así como para su crecimiento y distribución (McElwee et al., 2023).
- La acidificación de los océanos presenta efectos alarmantes para la vida marina, incluyendo los arrecifes de coral y moluscos (Carruba et al., 2022).

## Arrecifes de coral

Tanto en las entrevistas como en la revisión de literatura, se destacaron los arrecifes de coral de Puerto Rico como un ecosistema altamente vulnerable ante el cambio climático. A continuación, un resumen de los beneficios que los arrecifes de coral (considerados infraestructura natural)

ofrecen, recopilados a través de la revisión de literatura. De los corales verse afectados de manera significativa por el cambio climático, estos beneficios podrían perderse, y por lo tanto se podrían considerar como costos del cambio climático.

- El valor de los arrecifes de coral de Puerto Rico se estima en sobre \$1,800 millones, considerando su contribución a la pesca, recreación, turismo y biodiversidad (DNER, 2007).
- El valor promedio de los arrecifes de coral de Puerto Rico es de aproximadamente \$1.4 millones por kilómetro cuadrado, y el turismo basado en estos representa casi el 1% del producto interno bruto del país (Spalding et al., 2017).
- Anualmente, los arrecifes de coral protegen actividades económicas estimadas en \$490 millones y edificios valorados en \$278 millones (Storlazzi, et al., 2019).
- Los arrecifes de coral pueden reducir la energía de las olas hasta en 97% (Carrubba et al., 2022), y se estima que ofrecen una protección a estructuras contra inundaciones valorada en más de \$278 millones, esto con una tormenta con un periodo de retorno de 100 años (Storlazzi et al., 2019).

### Humedales

Este estudio identificó los humedales como otro ecosistema amenazado por los efectos del cambio climático. A continuación, un resumen de los beneficios y valores para los humedales (infraestructura verde), que se identificaron en la revisión de literatura. Estos beneficios podrían ser afectados por

la falta de medidas de adaptación ante el cambio climático.

- Los humedales ofrecen múltiples beneficios a la sociedad, incluyendo protección contra inundaciones, filtración de contaminantes, mejoramiento de la calidad del agua y del aire, y representan una alta rentabilidad para los sectores de recreación y turismo.
- En Puerto Rico, los humedales costeros representan un valor anual de \$6,800 millones, en términos de daños evitados por ciclones tropicales, y se estima que protegen 20 vidas anuales ante estos fenómenos (Costanza et al., 2021). Este mismo autor estima que por cada hectárea de humedal costero perdida los daños por huracanes aumentan en \$5,000 en promedio.
- Los resultados del análisis espacial arrojaron que alrededor de la mitad (51.5%) de los humedales de arbustos, concentrados en Bayamón, Humacao y Cabo Rojo, y el 37.9% de los humedales boscosos estuarinos, mayormente ubicados en Fajardo, Juana Díaz y Rincón, podrían ser inundados por el aumento en el nivel del mar de un pie.
- Mientras que aproximadamente un 22.4% de los humedales boscosos estuarinos, concentrados en los municipios de Loíza, Río Grande y Cabo Rojo, y el 11.5% de los humedales emergentes palustres, ubicados en su mayoría en Loíza, Río Grande y Barcelona, están en riesgo de inundación por la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro.

- El proceso de recuperación de los manglares conlleva gastos considerables. En Puerto Rico, el costo de restaurar los manglares afectados por el huracán María en cinco lugares (Punta Tuna, Punta Santiago, Piñones, Ciénaga Las Cucharillas y Jobos) superó los \$12 millones (Branoff et al., 2018).
- Los manglares pueden tardar mucho tiempo en recuperarse de fenómenos extremos. Según Ferwerda et al. (2007), la recuperación total después de un huracán podría tomar alrededor de 30 años.

### Reservas naturales y otras barreras costeras

A través del estudio, también se proyectan impactos climáticos en otros recursos terrestres e hídricos de Puerto Rico. A continuación, un resumen de los impactos estimados para parte de la infraestructura verde (reservas naturales y barreras costeras), provenientes del análisis geoespacial.

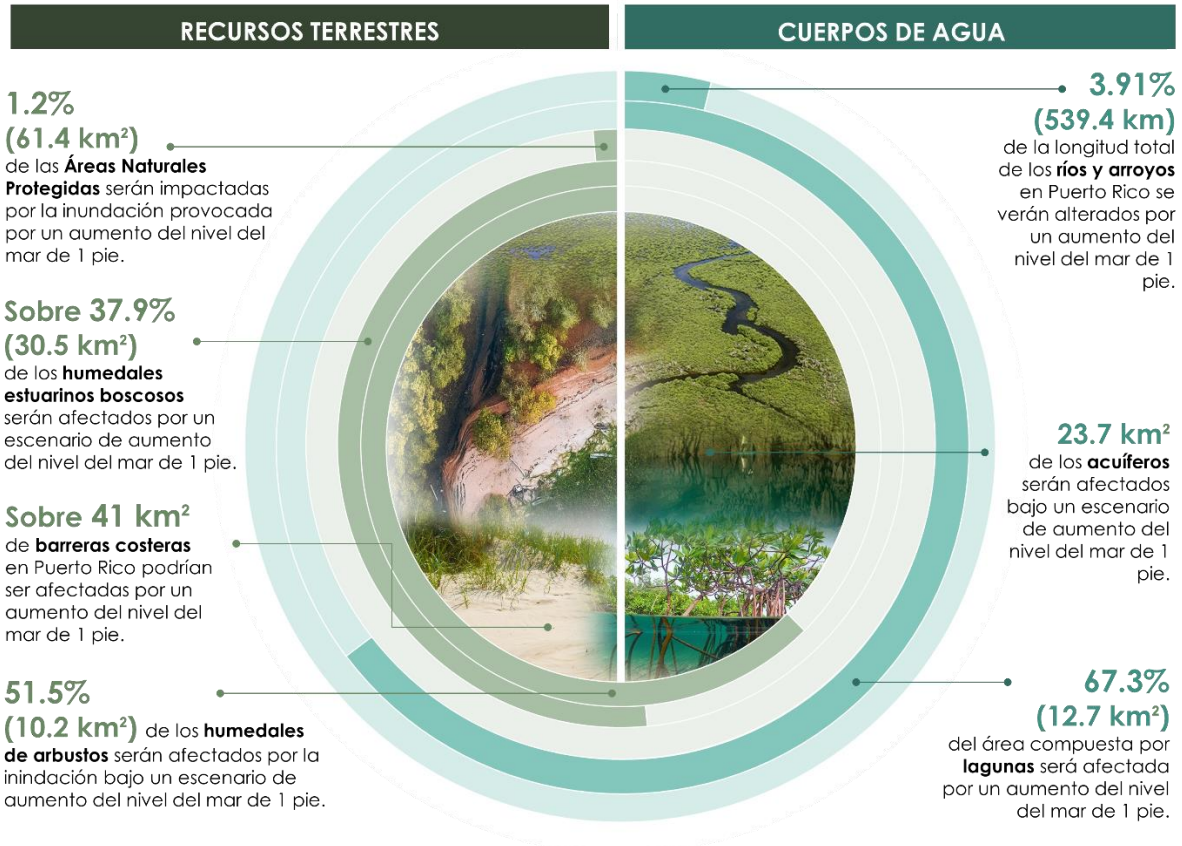
- Entre las áreas naturales protegidas (ANPs), se identificó la Reserva Natural Caño Tiburones como la reserva con una mayor extensión afectada por la inundación de un aumento del nivel del mar de un pie (68% de su superficie total

afectada). Los municipios que concentran la mayor cantidad de ANPs susceptibles a inundación por el aumento del nivel del mar de un pie son Arecibo, Cabo Rojo y Ceiba.

- Medio Mundo y Daguao serían las ANPs más afectadas por la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro. Los municipios que cuentan con la mayor cantidad de terreno de ANPs vulnerables a este riesgo son Río Grande, Cabo Rojo y Loíza.
- Bajo un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, sobre 41 millones de metros cuadrados de barreras costeras, las cuales se concentran en los municipios de Salinas, Loíza y Cabo Rojo, podrían quedar inundadas.
- La proyección de marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro podría inundar sobre 65.3 millones de metros cuadrados de barreras costeras, las cuales ubican en su mayoría cerca de los municipios de Loíza, Cabo Rojo y Guayama.

La Figura 3 presenta un resumen de los impactos esperados en las áreas naturales protegidas, humedales, barreras costeras, ríos, arroyos, acuíferos y lagunas.

Figura 3. Impactos del aumento del nivel del mar en los recursos terrestres y cuerpos de agua



### Recursos de agua

Los expertos indican que el cambio climático aumentará la escasez de agua y degradará su calidad. A continuación, los impactos esperados en los recursos de agua (infraestructura azul), obtenidos mediante el análisis espacial y la revisión de literatura.

- El aumento en temperatura puede contribuir a la disminución de la calidad del agua, ya que acelera los procesos de evaporación y disminuye los niveles de agua en los embalses, lo que resulta en mayor contacto con los sedimentos del fondo, que pueden tener contaminantes.
- Los eventos de lluvias fuertes aumentan la erosión y los depósitos de sedimentos

en los embalses de agua, provocando mayor turbidez del agua (Yasarer & Sturm, 2016). Se proyecta que el aumento del nivel del mar y la intrusión de agua salada empeoren aún más la calidad del agua (Payton et al., 2023).

- En 2015, el 16% del agua dulce provenía de acuíferos costeros (Molina-Rivera & Irizarry-Ortiz, 2021). Esto equivale a 107 millones de galones diarios que podrían estar en riesgo debido a la intrusión de agua salada.
- Se proyecta que, para un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, se inunden 23.74 kilómetros cuadrados de la superficie total del terreno sobre los acuíferos. Los acuíferos de los valles aluviales serían los más afectados y estos

se concentran en los municipios de Guayanilla (14.8%), Cabo Rojo (13.8%) y Lajas (9.9%).

- Los acuíferos de los valles aluviales también serían los más afectados por la marejada ciclónica de un huracán categoría cuatro con unos 84.75 km<sup>2</sup> o el 7.3% de su superficie en riesgo de inundación. Los municipios con la mayor cantidad de acuíferos de valle aluvial en riesgo son Río Grande (12.6%), Loíza (9.8%) y Guayanilla (8.5%).

### Agricultura

El aumento del nivel del mar y la marejada ciclónica tendrán impactos en el sector agrícola, presentando riesgos para la producción de alimentos de Puerto Rico.

- En un escenario de aumento del nivel del mar de un pie, 0.20 kilómetros cuadrados (0.1%) de los terrenos agrícolas concentrados en los municipios de Mayagüez y Yabucoa, podrían ser inundados. El aumento del nivel del mar también podría reducir el suministro de agua disponible para riego.
- Bajo un escenario de marejada ciclónica asociada con un huracán categoría cuatro, se podría afectar el

4% de los terrenos agrícolas, ubicados mayormente en los municipios de Yabucoa y Guánica.

- En el corto plazo, las inundaciones provocadas por la marejada ciclónica pueden ocasionar la pérdida de cultivos y equipo, contaminación, erosión del suelo, depósito de escombros y la propagación de especies invasoras. Mientras que, a largo plazo, pueden provocar la salinización de los terrenos agrícolas, afectando la fertilidad del suelo.

El cambio climático también presenta una amenaza para la economía azul, incluyendo los sectores de turismo, recreación, pesca, transporte marítimo, construcción y utilidades. Mediante la revisión de literatura se pudieron identificar beneficios de este sector económico.

- En 2021, la economía azul en Puerto Rico generó sobre 54,000 empleos y contribuyó más de \$1,400 millones al producto interno bruto (ENOW, 2024).
- El turismo y la recreación representaban el sector principal, aportando un 76% de la economía oceánica (ENOW, 2024).



### III. PANORAMA CLIMÁTICO ESPERADO PARA PUERTO RICO

Como parte de la fase de revisión de literatura del estudio, se analizaron distintos parámetros asociados al cambio climático, incluyendo **aumento del nivel del mar, precipitación, eventos extremos, temperatura global del aire, temperatura de los océanos y acidificación del océano.**

A continuación, se ofrece un resumen de los efectos esperados para cada parámetro climático en Puerto Rico. Para un panorama exhaustivo de las tendencias, proyecciones y efectos, se recomienda consultar las referencias incluidas en la Figura 4.

Figura 4. Tendencias, proyecciones y efectos de los parámetros climáticos

	Tendencias	Proyecciones	Posibles efectos
Aumento del nivel del mar	 <p>En <b>La Puntilla, San Juan</b> <sup>1</sup>, la tendencia relativa de aumento del nivel del mar es de <b>2.14 mm por año</b> (2.3 metros en 100 años).</p>	 <p>Las proyecciones para <b>los Estados Unidos</b> apuntan a un aumento de <b>0.28 m</b> para el <b>2050</b> y <b>1.0 m</b> para el <b>2100</b>, en comparación con el nivel base de 2000, para el Caribe. <sup>2</sup></p>	<p>Un aumento del nivel del mar puede resultar en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>erosión costera;</li> <li>intrusión de agua salada y <b>degradación de los ecosistemas</b>;</li> <li><b>pérdida de zonas costeras bajas</b>;</li> <li>marejada ciclónica e <b>inundaciones permanentes</b>;</li> <li><b>pérdida de infraestructura</b>;</li> <li><b>desplazamiento</b>, migración y cambios en culturas locales.</li> </ul>
Precipitación	 <p>La frecuencia y la intensidad de los <b>eventos de precipitación fuerte</b> han <b> aumentado desde los 1950s</b>. Esto se observa en la mayoría de los terrenos para los cuales existen datos suficientes para el análisis de tendencias (alta confianza). <sup>3</sup></p>	 <p>Cuando se alcance una temperatura global promedio de <b>2.0°C</b> (proyectado para mediados de siglo), se espera que el Caribe <b>se vuelva más seco</b>, con una posible <b>reducción de 15%</b> en precipitación. La temporada de lluvia es particularmente vulnerable a las tendencias de sequía.</p>	<p>Los retos asociados con la <b>producción agrícola</b> incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>condiciones subóptimas en el sur y oeste de Puerto Rico para el cultivo de guineos y plátanos <sup>4</sup>;</li> <li>escasez de agua de riego durante la época seca del año en el este y norte de Puerto Rico <sup>5</sup>; y</li> <li>disminución de las áreas aptas para la siembra de café en la parte oeste de la Cordillera Central <sup>6</sup>.</li> </ul> <p>Otros efectos incluyen <b>cambios en la biodiversidad</b>; y la reducción del suministro de <b>agua potable</b> y la <b>seguridad alimentaria</b>.</p>

Notas: <sup>1</sup> NOAA/NOS/CO-OP station 9755371. <sup>2</sup> Sweet et al. (2022). <sup>3</sup> IPCC. (2023 a). <sup>4,5</sup> Moraes et al. (2023). <sup>6</sup> Fain et al. (2018).

	Tendencias	Proyecciones	Posibles efectos
Eventos extremos	 <p>Los <b>eventos extremos</b>, como las olas de calor, las lluvias fuertes, las sequías, y las tormentas tropicales se han <b>fortalecido</b> significativamente durante los últimos 10 años.<sup>7</sup></p>	 <p>Se esperan cambios en los patrones de precipitación, resultando en un <b>aumento de sequías</b> o <b>eventos de lluvias fuertes</b>. Además, se espera un aumento en la frecuencia e intensidad de las <b>olas de calor</b> y <b>tormentas tropicales</b>.<sup>8</sup></p>	<p>Los cambios en los patrones de lluvia pueden impactar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>los recursos hídricos y el <b>suministro de agua potable</b><sup>9</sup>;</li> <li>la <b>agricultura</b>;</li> <li>la <b>disponibilidad de agua dulce</b>; y</li> <li>la salud de los <b>ecosistemas</b>.</li> </ul> <p>El aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos está posiblemente asociado con el <b>aumento en las muertes directas e indirectas</b>, especialmente de las poblaciones más vulnerables.</p>
Temperatura global del aire	 <p>La temperatura promedio en <b>2023</b> era de aproximadamente <b>1.4 grados Celsius</b> por encima de la temperatura de la época pre-industrial (1850-1900), la cual es utilizada como la temperatura base.</p>	 <p>Se espera que la temperatura <b>continúe aumentando</b>. La magnitud del calentamiento <b>va a depender de la trayectoria futura de las emisiones</b>.<sup>10</sup></p>	<p>El aumento de la temperatura global contribuye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>al aumento del nivel del mar;</li> <li>los cambios en <b>producción agrícola</b>;</li> <li>la reproducción de <b>vectores de enfermedades</b>;</li> <li>la destrucción de los <b>arrecifes de coral</b> y el daño a las <b>playas</b>;</li> <li>el aumento de riesgo de <b>desastres naturales</b>;</li> <li>el aumento en <b>estrés por calor en los trabajos</b> y <b>los problemas relacionados con la salud</b><sup>11</sup>; y</li> <li>el <b>riesgo de extinción</b> de algunas especies altamente sensibles a las temperaturas<sup>12</sup>.</li> </ul>
Temperatura de los océanos	 <p>La temperatura global de los océanos ha <b>aumentado 0.88°C</b> entre 2011-2020, en comparación con la época pre-industrial.<sup>13</sup> Las tendencias para el Caribe demuestran una <b>tendencia sostenida de calentamiento</b> con un aumento de <b>2.3%</b>, en comparación con la temperatura de 1992.<sup>14</sup></p>	 <p>Se proyecta que las temperaturas de la superficie de los océanos <b>continúen aumentando</b>. La magnitud del calentamiento <b>va a depender de la trayectoria futura de las emisiones</b>.<sup>15</sup></p>	<p>El aumento de la temperatura de la superficie del mar puede:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>proveer más energía para huracanes, lo que puede resultar en <b>tormentas más intensas y destructivas</b>; y</li> <li>provocar el <b>blanqueamiento de los arrecifes de coral</b>.</li> </ul> <p>La pérdida de cobertura de arrecifes de coral puede resultar en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>menor protección para la costa</b> ante marejadas ciclónicas y oleaje;</li> <li><b>disminución de hábitats</b> y <b>ecosistemas importantes</b>; y</li> <li>consecuencias negativas para la <b>pesca</b> y las <b>actividades turísticas</b>.</li> </ul>
Acidificación del océano	 <p>La acidez oceánica en la superficie de las aguas del Caribe ha <b>aumentado un 12%</b> entre <b>1988</b> y <b>2021</b>.<sup>16</sup> Algunos estudios realizados en <b>La Parguera</b> demuestran un <b>aumento de 2%</b> en acidez entre <b>2009</b> y <b>2020</b>, así como cambios en la composición química del agua.<sup>17</sup></p>	 <p>La acidificación de los océanos (prácticamente segura) <b>continuará en aumento</b> durante el siglo 21, a un ritmo que <b>dependerá de las emisiones futuras</b>.<sup>18</sup></p>	<p>La acidificación de los océanos puede afectar la <b>capacidad de la vida marina, como los corales</b>, para desarrollar <b>sus esqueletos</b>, formados por carbonato de calcio. Además del <b>deterioro de la salud de los ecosistemas marinos</b>, la acidificación presenta amenazas para <b>los servicios que proveen</b>, y <b>las actividades socioeconómicas</b>, las cuales se estiman en sobre <b>\$118 millones</b><sup>19</sup> (para los arrecifes de coral), según el USGS.</p>

Notas: <sup>7</sup> IPCC (2023 b). <sup>8</sup> PRCCC. (2022). <sup>9</sup> WEF. (2021). <sup>10</sup> PRCCC. (2022). <sup>11</sup> Habibi, P., et al., (2021). <sup>12</sup> McElwee et al. (2023). <sup>13</sup> IPCC (2023 b). <sup>14, 15, 16, 17</sup> PRCCC (2022). <sup>18</sup> IPCC. (2023a). <sup>19</sup> Stortazzi et al. (2019).

## IV. RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

**Las proyecciones climáticas más recientes indican en general una intensificación de las condiciones** observadas actualmente. Sin embargo, estas proyecciones de escenarios y efectos del cambio climático para Puerto Rico varían dependiendo de las emisiones futuras.

El análisis desarrollado en este informe representa un paso novel e importante para el desarrollo de políticas públicas con conciencia de la realidad climática de Puerto Rico no solo en el contexto de las emisiones globales, sino en los efectos reales que corresponderá mitigar o atender.

Los hallazgos del modelo DCGE sugieren que la inacción sobre el cambio climático resultará en un deterioro económico y social, afectando múltiples sectores de la economía de Puerto Rico. A modo de ejemplo, el costo de la inacción para 2050, bajo el escenario de aumento de temperatura de 2°C, representa el 18.3% del PIB de Puerto Rico, acumulado entre el 2021 y 2050. Otro dato importante es que, el estudio encontró que, en promedio, por cada punto porcentual adicional de estructuras en riesgo, el costo de la inacción aumentaría en \$6,400 millones, en dólares de 2021.

**Estos resultados resaltan la necesidad de implementar políticas de adaptación, mitigación y resiliencia climática, como las que se contemplan en el Plan de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático (MARCC), y el riesgo de perder la ventana de oportunidad**

**temprana para ejecutarlas.** Sin una política directa, urgente y viable por parte del gobierno, los patrones de crecimiento económico de Puerto Rico empeorarán significativamente debido al cambio climático.

Los resultados del análisis geoespacial muestran la existencia de recursos naturales importantes e infraestructura crítica que son susceptibles a los efectos del aumento del nivel del mar y las marejadas ciclónicas. Varias áreas naturales protegidas se verán inundadas por el aumento en el nivel del mar y las marejadas ciclónicas, como el Caño Tiburones y el Bosque Estatal de Piñones.

En el caso de la infraestructura construida, los activos turísticos (hoteles, marinas comerciales y ZITs) son los más expuestos al aumento en el nivel del mar y la marejada ciclónica de un huracán categoría 4. El 10.5% de esta infraestructura está expuesta a inundaciones causadas por un escenario de aumento en el nivel del mar de 1 pie, 19.9 % en el escenario de 3 pies, y 18.9% a la marejada ciclónica causada por un huracán de categoría 4.

En cuanto a la generación de energía, dos plantas generatrices de las 13 existentes están en riesgo de que sus terrenos sean inundados parcialmente por el aumento del nivel del mar de 1 pie, siendo estas Costa Sur en Guayanilla (1.3% del terreno) y el Complejo Aguirre en Salinas (0.2% del terreno). Mientras que, seis de las 13 plantas son susceptibles a la inundación por la marejada ciclónica de un huracán

categoría 4. De estas, el 53.0% del terreno del Complejo Generatriz Central San Juan podría ser alcanzado por la marejada.

Es importante señalar que cuatro de los 13 aeropuertos son susceptibles a inundaciones causadas por una marejada ciclónica categoría 4. Además, todos los puertos marítimos, incluido el puerto de Ceiba, podrían verse inundados por una marejada ciclónica de un huracán categoría 4. El puerto marítimo de Ceiba es el único puerto que brinda transporte a los municipios insulares de Vieques y Culebra. Esto pone de relieve lo crucial que es implementar medidas de mitigación y adaptación climática para proteger esta instalación crítica.

Otro elemento crucial de infraestructura construida que tiene una alta vulnerabilidad a las inundaciones provocadas por huracanes de categoría 4 es la infraestructura de aguas residuales. Dos plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en Cabo Rojo y Guánica, y 68 estaciones de bombeo concentradas en San Juan y Cabo Rojo podrían sufrir inundaciones en este escenario.

Los resultados del análisis geoespacial también indican la necesidad de datos actualizados sobre la localización de la infraestructura crítica. Algunos de los datos espaciales utilizados en el análisis tienen una década de antigüedad (por ejemplo, datos sobre la infraestructura energética).

Se necesitan datos más recientes para mejorar la evaluación de los impactos del cambio climático en Puerto Rico. Los datos actualizados también pueden facilitar la evaluación de otros factores no considerados en este estudio, como el valor económico de los activos inundados, o los costos asociados con la reparación o reemplazo de los activos dañados por el aumento del nivel del mar o las marejadas ciclónicas.

Estudios futuros sobre la inacción ante el cambio climático podrían explorar parámetros adicionales para ampliar el análisis de los costos económicos asociados en Puerto Rico. Añadir estos factores probablemente resultaría en un estimado de costo de inacción más elevado. También se podrían examinar en profundidad las vulnerabilidades a los efectos climáticos y los costos asociados con las medidas de adaptación de otros sectores económicos no incluidos en este estudio.

Por otro lado, desarrollar estudios adicionales para estimar el costo de los proyectos de mitigación ante cambio climático que serían necesarios para los sectores estudiados, así como los daños proyectados, ayudará a calcular costos de la inacción más precisos. Por ejemplo, se podrían calcular los costos de la relocalización de las carreteras y puentes que serán afectados por el aumento en el nivel del mar, los costos de la mitigación

**“Sin una política directa, urgente y viable por parte del gobierno, los patrones de crecimiento económico de Puerto Rico empeorarán significativamente debido al cambio climático.”**

necesaria en puertos y aeropuertos, así como en la infraestructura de agua potable y sanitaria y las telecomunicaciones, entre otros.

# GLOSARIO

---

**Acidificación del océano:** Reducción del pH del océano durante un período prolongado de tiempo, causada principalmente por la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera (NOAA, s.f. A).

---

**Adaptación climática:** el ajuste a los efectos del cambio climático (CRS, 2022).

---

**Análisis especial:** El proceso de examinar las ubicaciones, atributos, patrones y relaciones de características en datos espaciales para abordar una pregunta u obtener conocimientos útiles (ESRI, s.f. A).

---

**Aumento en el nivel del mar:** aumento a largo plazo de la altura media de los océanos y vías navegables costeras del mundo. Es causada principalmente por dos factores: la expansión térmica del agua de mar y la adición de agua proveniente del derretimiento de los glaciares y las capas de hielo.

---

**Barreras costeras:** Formaciones terrestres únicas ubicadas en la interfaz tierra-agua que brindan protección para diversos hábitats costeros y estuarinos y sirven como la primera línea de defensa del continente contra tormentas severas (Coburn & Whitehead, 2019).

---

**Cambio climático:** un cambio en el estado del clima que puede identificarse (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

---

**Catastrófico:** Irreversible. Se refiere a cuando el sistema climático se ve obligado a cruzar umbrales que desencadenan una transición a un nuevo estado a un ritmo determinado por el propio sistema climático y más rápido que la causa.

---

**Costo de la inacción:** los costos socioeconómicos monetarios estimados obtenidos a través del modelo DCGE, calculados como una pérdida en el Producto Interno Bruto (PIB) y en otros indicadores económicos como pérdidas de producción, disminución del acervo de capital, inversiones necesarias para mantener el mismo bienestar económico, etc.

---

**Economía azul:** se refiere al uso sostenible de los recursos oceánicos para el crecimiento económico, crear mejores medios de vida y empleos, mientras se preserva al mismo tiempo la salud de los ecosistemas oceánicos (The World Bank, 2017).

---

**Escenarios de cambio climático:** Posibles escenarios climáticos futuros creados por modelos que intentan simular las interacciones intrincadas entre la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y el hielo, basados en el conocimiento actual. Los escenarios climáticos son inherentemente inciertos debido a la naturaleza compleja y dinámica del sistema climático de la Tierra.

---

---

**Eventos extremos:** son un momento y un lugar en el que las condiciones meteorológicas, climáticas o ambientales, como la temperatura, las precipitaciones, la sequía o las inundaciones, se ubican por encima de un valor umbral cerca de los extremos superior o inferior del rango de mediciones históricas (NOAA, 2020).

---

**Infraestructura azul:** se refiere a los cuerpos de agua naturales o construidos que recrean el ciclo natural del agua y respaldan los ecosistemas, la resiliencia y las capacidades de mitigación de peligros (MAP, 2020). También incluye elementos urbanos como estanques, lagos y drenajes sostenibles, que están diseñados para mejorar la calidad y cantidad del suministro de agua (Greenblue, 2023).

---

**Infraestructura crítica:** Activos, sistemas y redes que proporcionan funciones necesarias para la vida diaria. Incluye 16 sectores (como comunicaciones, servicios de emergencia, energía, instalaciones gubernamentales, sector de la salud y sistemas de agua y residuos) que forman parte de un ecosistema complejo e interconectado. Cualquier amenaza a estos sectores podría tener efectos potencialmente debilitantes para la seguridad nacional, la economía, y consecuencias para la salud o seguridad pública (CISA, s.f.).

---

**Infraestructura gris:** Este término se refiere a entornos construidos que brindan uno o más servicios a la sociedad, como transporte, gestión de aguas pluviales o tratamiento de aguas residuales (IISD, 2023). Los ejemplos incluyen carreteras, cunetas, desagües, tuberías y cuencas de retención (EPA, 2023).

---

**Infraestructura verde:** Este tipo de infraestructura incorpora áreas tanto naturales como construidas que están diseñadas para brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos, mejorar la biodiversidad y mitigar los peligros naturales (EU, s.f.). La infraestructura verde se utiliza a menudo para gestionar la escorrentía y reducir las inundaciones a través de elementos como áreas ribereñas, humedales y espacios verdes abiertos (EPA, 2023).

---

**Intrusión salina o de agua salada:** el movimiento del agua de mar hacia el interior de los acuíferos costeros. La intrusión de agua salada puede provocar un aumento de las concentraciones de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés) por encima de los límites permitidos o cambios en los ecosistemas.

---

**Modelo DCGE:** modelo de equilibrio general computable dinámico (DCGE, por sus siglas en inglés) utilizado para calcular los costos socioeconómicos de la inacción ante el cambio climático en este estudio. El modelo desagregó la economía en seis sectores principales: agricultura, manufactura, servicios, servicios públicos, construcción y comercio mayorista y minorista.

---

**Parámetros climáticos:** indicadores que describen el cambio climático sin reducirlo solo a la temperatura (GCOS, 2024). Los parámetros o indicadores utilizados en los estudios varían según la región del mundo y el énfasis del estudio. Este estudio considera los mismos seis parámetros discutidos en el informe Estado del Clima de Puerto Rico 2014 – 2021: nivel del mar, precipitación, eventos extremos, temperatura global del aire, temperatura del océano y acidificación de los océanos.

---

**Producto Interno Bruto (PIB):** El PIB es el valor de mercado total de los bienes y servicios finales producidos en los Estados Unidos en un año. El PIB es la forma en que se mide la economía estadounidense y su crecimiento (BEA, s.f.).

---

## REFERENCIAS

- Alberti, C. (2024, January 4). The Cost of Inaction. CPI. <https://www.climatepolicyinitiative.org/the-cost-of-inaction/>
- Borgelt, J., Dorber, M., Høiberg, M. A., & Verones, F. (2022). More than half of data deficient species predicted to be threatened by extinction. *Communications Biology*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03638-9>
- Branoff, B., Cuevas, E., and Hernández, E. (2018). Assessment of Urban Coastal Wetlands Vulnerability to Hurricanes in Puerto Rico. <https://www.drna.pr.gov/wpcontent/uploads/2018/09/FEMA-Wetlands-Report.pdf>
- Bureau of Economic Analysis (BEA). (sin fecha). What is GDP? <https://www.bea.gov/system/files/2020-04/GDP-Education-by-BEA.pdf>
- Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. (2021). Impacts of a drought and hurricane on tropical bird and frog distributions. *Ecosphere*, 12(1), e03352. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3352>
- 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., ZayasSantiago, 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., Gonzalez, M., Leinberger, A., Rodríguez, J.L. [Eds.]
- CISA. (s.f.). Critical Infrastructure Sectors. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. Recuperado de <https://www.cisa.gov/topics/critical-infrastructure-security-and-resilience/critical-infrastructure-sectors>
- Coburn, A. S., & Whitehead, J. C. (2019). An analysis of federal expenditures related to the Coastal Barrier Resources Act (CBRA) of 1982. *Journal of Coastal Research*, 35(6), 1358- 1361. [https://shoreline.wcu.edu/Andy/Coburn&Whitehead\\_2019\\_JCR.pdf](https://shoreline.wcu.edu/Andy/Coburn&Whitehead_2019_JCR.pdf)
- Costanza, R., Anderson, S. J., Sutton, P., Mulder, K., Mulder, O., Kubiszewski, I., Wang, X., Liu, X., Pérez-Maqueo, O., Luisa Martinez, M., Jarvis, D., & Dee, G. (2021). The global value of coastal wetlands for storm protection. *Global Environmental Change*, 70, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102328>
- CRS. (2022). FEMA Hazard Mitigation: A first step toward climate adaptation. Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46989>
- Dadgar, I. & Norström, T. (2022). Is there a link between all-cause mortality and economic fluctuations? *Scandinavian Journal of Public Health*, 50(1), 6-15. <https://doi.org/10.1177/14034948211049979>
- Dasgupta, P. (2021). The economics of biodiversity: The Dasgupta review: full report (Updated: 18 February 2021). HM Treasury.
- DRNA. (2007). Valoración económica de los arrecifes de coral y ambientes asociados al Este de Puerto Rico. Preparado por Estudios Técnicos para DRNA. <https://www.drna.pr.gov/wp-content/uploads/2015/08/VET-Arrecifes-de-Coral-y-Ambientes-Asociados-Final.pdf>
- ENOW. (2024). GDP: Total Ocean Economy. Puerto Rico 2021. <https://coast.noaa.gov/enowexplorer/#/gdp/total/2021/72000/>



- Environmental Protection Agency (EPA). (2023). What is Green Infrastructure? United States Environmental protection Agency. Recuperado el 3 de enero de 2024, de <https://www.epa.gov/green-infrastructure/whatgreen-infrastructure>
- ESRI. (sin fecha A). GIS Dictionary. Spatial analysis. <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/spatial-analysis>
- EU. (sin fecha). Green infrastructure. European Commission. Recuperado el 3 de enero de 2024, de [https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/greeninfrastructure\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/greeninfrastructure_en)
- Ezurra, P., & Rivera-Collazo, I. C. (2018). An assessment of the impacts of climate change on Puerto Rico's Cultural Heritage with a case study on sea-level rise. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 198-209.
- Ferwerda, J. G., Ketner, P., & McGuinness, K. A. (2007). Differences in regeneration between hurricane damaged and clear-cut mangrove stands 25 years after clearing. *Hydrobiologia*, 591(1), 35–45. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0782-7>
- Freeman, K., Subedi, S. C., & Ross, M. S. (2024). Coastal dry tropical forests in Florida and the Caribbean in peril: A review. *Biotropica*, 56(1), 185–197. <https://doi.org/10.1111/btp.13285>
- Global Climate Observing System (GCOS). (9 May 2024). Global Climate Indicators. <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>
- Gould, W.A. (2013). Fire danger rating system and fire weather zones for Puerto Rico and U.S. Virgin Islands. U.S. Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, San Juan, PR. [https://www.fs.fed.us/research/highlights/highlights\\_display.php?in\\_high\\_id=456](https://www.fs.fed.us/research/highlights/highlights_display.php?in_high_id=456)
- Greenblue. (2023). Why Green and Blue? Greenblue Urban. Recuperado el 3 de enero de 2024, de <https://greenblue.com/gb/about-us/why-green-and-blue/>
- International Institute for Sustainable Development (IISD). (2023). What is grey infrastructure? Retrieved January 3, 2024, from <https://www.iisd.org/savi/faq/whatis-grey-infrastructure/>
- MAP. (2020). Blue Green Infrastructure. Michigan Economic Development Corporation. Recuperado el 3 de enero de 2024, de <https://www.miplace.org/4a72d0/globalassets/documents/rrc/rrc-library/maptear-sheets/quick-sheet--bluegreeninfrastructure.pdf>
- McElwee, P. D., Carter, S. L., Hyde, K. J. W., West, J. M., Akamani, K., Babson, A. L., Bowser, G., Bradford, J. B., Costanza, J. K., Crimmins, T. M., Goslee, S. C., Hamilton, S. K., Helmuth, B., Hoagland, S., Hoover, F.-A. E., Hunsicker, M. E., Kashuba, R., Moore, S. A., Muñoz, R. C., ... Wilkening, J. L. (2023). Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. In A. R. Crimmins, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, B. C. Stewart, & T. K. Maycock (Eds.), *Fifth National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH8>
- Méndez-Lazaro, P. A., Chardón-Maldonado, P., Carrubba, L., Álvarez-Berrios, N., Barreto, M., Bowden, J. H., Crespo-Acevedo, W. I., Diaz, E. L., Gardner, L. S., Gonzalez, G., Guannel, G., Guido, Z., Harmsen, E. W., Leinberger, A. J., McGinley, K., Méndez-Lazaro, P. A., Ortiz, A. P., Pulwarty, R. S., Ragster, L. E., ... Vila-Biaggi, I. M. (2023). US Caribbean. In A. R. Crimmins, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, B. C. Stewart, & T. K. Maycock (Eds.), *Fifth National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH23>
- Molina-Rivera, W. L., & Irizarry-Ortiz, M. M. (2021). Estimated water withdrawals and use in Puerto Rico, 2015. In *Open-File Report (2021-1060)*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20211060>

- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). (29 OCT 2020). What is an "extreme event"? Is there evidence that global warming has caused or contributed to any particular extreme event? <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/what-extreme-event-there-evidence-global-warming-has-caused-or-contributed>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (sin fecha A). Lesson 3: Ocean Acidification. [https://www.st.nmfs.noaa.gov/Assets/Nemo/documents/lessons/Lesson\\_3/Lesson\\_3-Teacher's\\_Guide.pdf](https://www.st.nmfs.noaa.gov/Assets/Nemo/documents/lessons/Lesson_3/Lesson_3-Teacher's_Guide.pdf)
- Nordio, G., Frederiks, R., Hingst, M., Carr, J., Kirwan, M., Gedan, K., Michael, H., & Fagherazzi, S. (2023). Frequent Storm Surges Affect the Groundwater of Coastal Ecosystems. *Geophysical Research Letters*, 50(1), e2022GL100191. <https://doi.org/10.1029/2022GL100191>
- Olivero-Lora, S., Rojas-Sandoval, J., Meléndez-Ackerman, E.J. et al. (2022). Hurricane driven changes in vegetation structure and ecosystem services in tropical urban yards: a study case in San Juan, Puerto Rico. *Urban Ecosystems*, 25, 1431–1444. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01236-5>
- Orgiazzi, A., Panagos, P., Yigini, Y., Dunbar, M. B., Gardi, C., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2016). A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity. *Science of The Total Environment*, 545–546, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.092>
- Payton, E. A., Pinson, A. O., Asefa, T., Condon, L. E., Dupigny-Giroux, L.-A. L., Harding, B. L., Kiang, J., Lee, D. H., McAfee, S. A., Pflug, J. M., Rangwala, I., Tanana, H. J., & Wright, D. B. (2023). Water. In A. R. Crimmins, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, B. C. Stewart, & T. K. Maycock (Eds.), *Fifth National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH4>
- Rocco, L., Fumagalli, E., Mirelman, A.J., Suhrcke, M. (2021) Mortality, morbidity and economic growth. *PLOS ONE* 16(5): e0251424. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251424>
- Spalding, M., Burke, L., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J., & zu Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, 82, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
- Storlazzi, C. D., Reguero, B. G., Cole, A., Lowe, E., Shope, J. B., Gibbs, A. E., Nickel, B. A., McCall, R. T., van Dongeren, A. R., & Beck, M. W. (2019). Rigorously valuing the role of U.S. coral reefs in coastal hazard risk reduction (Report 2019–1027; Open-File Report, p. 52). USGS Publications Warehouse. <https://doi.org/10.3133/ofr20191027>
- Tavárez, H. & Elbakidze, L. (2021). Urban forests valuation and environmental disposition: The case of Puerto Rico. *Forest Policy and Economics*, 131, 102572. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102572>
- The World Bank. (el 6 junio de 2017). What is the Blue Economy? <https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2017/06/06/blue-economy>
- Vecchi, G. A., Landsea, C., Zhang, W., Villarini, G., & Knutson, T. (2021). Changes in Atlantic major hurricane frequency since the late-19th century. *Nature Communications*, 12(4054), 1–9. doi:10.1038/s41467-021-24268-5.
- Yasarer, L. M. W., & Sturm, B. S. M. (2016). Potential impacts of climate change on reservoir services and management approaches. *Lake and Reservoir Management*, 32(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/10402381.2015.1107665>

- Yu, M., Rivera-Ocasio, E., Heartsill-Scalley, T., Davila-Casanova, D., Rios-López, N., & Gao, Q. (2019). Landscape-Level Consequences of Rising Sea-Level on Coastal Wetlands: Saltwater Intrusion Drives Displacement and Mortality in the Twenty-First Century. *Wetlands*, 39(6), 1343–1355. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01138-x>
- Zimmerman, J. K., Willig, M. R., & Hernández-Delgado, E. A. (2020). Resistance, resilience, and vulnerability of social-ecological systems to hurricanes in Puerto Rico. *Ecosphere*, 11(10), e03159. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3159>.