

Diagnóstico del Estado del Ambiente Marino-Costero
del Pacífico de Panamá

Informe temático

Cambio Climático



CAMBIO CLIMÁTICO

Contenido

Siglas y Acrónimos	5
1. Introducción	6
3. Elementos conceptuales de referencia	8
4. Contexto: Proyecciones de cambio climático para la zona marino-costera	10
5. Escenarios de cambio climático y sus efectos para los recursos marino-costeros	16
5.1. Proyecciones de cambio climático y efectos sobre los ecosistemas marino-costeros	16
5.2. Impacto del cambio climático sobre los problemas transzonales y compartidos identificados	20
6. Hallazgos relevantes	27
7. Conclusiones	29
8. Bibliografía	32
9. Entrevistas	36
Anexo I. Figuras y mapas	37
Anexo II. Resumen de las entrevistas	46



Índice de tablas

Tabla 1. Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros.	13
Tabla 2. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transzonal y compartido declive de los recursos pesqueros).	20
Tabla 3. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transzonal contaminación por vertidos y residuos sólidos.	22
Tabla 4. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transzonal especies invasoras.	23
Tabla 5. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema compartido declive de la biodiversidad.	24
Tabla 6. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema compartido declive de la calidad del agua.	25

Índice de figuras

Figura 1. Temperatura media Panamá entre 1860 - 2020. Fuente: Berkeley Earth, 2023.....	37
Figura 2. Cambios estacionales Panamá 1950 - 2020. Fuente: Berkeley Earth, 2023.	37
Figura 3. Tendencia de precipitación observada por década (1971-2020). Fuente: The World Bank Group, 2024.....	38
Figura 4. Promedio de Días Consecutivos Secos (CDD) Panamá desde 1988 - 2019. Fuente: Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente, 2022.	38
Figura 5. Promedio de Días Consecutivos Húmedos (CWD) Panamá desde 1988 - 2019. Fuente: Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente, 2022.....	39
Figura 6. Temperatura Superficial del Mar para el Pacífico Este de Panamá 1985 - 2024 (Datos al día 26 de noviembre de 2024). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NOAA Coral Reef Watch, 2024.	39
Figura 7. Temperatura Superficial del Mar para el Pacífico Oeste de Panamá 1985 - 2024 (Datos al día 26 de noviembre de 2024). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NOAA Coral Reef Watch, 2024.	40
Figura 8. Cambio del nivel del mar relativo (mm) desde la estación mareográfica de Balboa para el período de 1900 a 2015. Fuente: Oppenheimer et al., 2019.....	40
Figura 9. Anomalías promedio del nivel medio del mar para la costa Pacífica de Panamá. Fuente: NASA, 2024.	41
Figura 10. Cambio de temperatura media con respecto al periodo de referencia (1850 - 1900) para los escenarios CMIP6 (SSP1-2.6, SSP1-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). Fuente: Elaboración propia con datos IPCC, 2021.	41
Figura 11. Climatología proyectada de la temperatura media en todo el país para 2020 - 2039 y 2040 - 2059 (período de referencia 1995 - 2014) bajo escenario SSP3-7.0. Fuente: World Bank Group, 2024.	42
Figura 12. Escenario de Cambio Climático al 2030. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2023.	42
Figura 13. Escenario de Cambio Climático al 2050. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.	43
Figura 14. Escenario de Cambio Climático al 2070. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2023.	44
Figura 15. Serie de Aumento del Nivel Medio del Mar (ANMM) en la ubicación 7°N y -80°W frente a la costa Pacífica de Panamá. Fuente: Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, 2022.	44
Figura 16. Áreas impactadas por ascenso del nivel del mar al 2050 para República de Panamá. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2022.	45
Figura 17. Mapa de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2021.	45
Figura 18. Mapa de especies y ecosistemas de importancia marina. Fuente: SINIA, 2010.....	46

Siglas y Acrónimos

ADT	Análisis Diagnóstico Transfronterizo
AMP	Área Marina Protegida
CDD	Promedio de días consecutivos secos
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CWD	Promedio de días consecutivos húmedos
ENSO	El Niño Oscilación del Sur
GEI	Gases de efecto invernadero
GEM PACA	Gran Ecosistema Marino del Pacífico Centroamericano
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica
PAE	Programa de Acción Estratégica
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas
SSP	Trayectorias Socioeconómicas Compartidas

1. Introducción

El cambio climático representa uno de los desafíos más significativos para la gestión sostenible de los ecosistemas marino-costeros a nivel global. En el caso del Gran Ecosistema Marino del Pacífico Centroamericano (GEM PACA), que abarca una vasta región desde México hasta Ecuador, los impactos del cambio climático se suman a una serie de amenazas preexistentes como la contaminación, la sobreexplotación de recursos, la degradación de hábitats y la pérdida de biodiversidad (IPCC, 2021). Esta región, que alberga una biodiversidad excepcional y fuente de servicios ecosistémicos clave, enfrenta una vulnerabilidad crítica debido a su posición geográfica, sus limitaciones socioeconómicas y la creciente frecuencia de eventos climáticos extremos (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

El Proyecto Pacífico Sostenible de WWF Mesoamérica tiene como objetivo central fortalecer la gobernanza marino-costera transfronteriza en esta región, promoviendo un enfoque ecosistémico que permita abordar los desafíos ambientales y sociales de manera integral. En este contexto, el Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) constituye un instrumento clave para identificar y priorizar los problemas ambientales compartidos, y sentar las bases científicas y técnicas para la formulación de un Programa de Acción Estratégica (PAE) (GEF, 2020).

El presente informe aborda aspectos clave del cambio climático en el contexto del Gran Ecosistema Marino del Pacífico Centroamericano (GEM PACA), centrándose en la perspectiva del Pacífico Panameño, desde una perspectiva de análisis científico y técnico. Se enfoca en identificar las principales vulnerabilidades y desafíos ambientales específicos de la Costa Pacífica de Panamá, incluyendo el impacto del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros y las comunidades humanas dependientes de ellos. Este enfoque permite contribuir al fortalecimiento de la gobernanza regional y a la articulación de estrategias integrales para la conservación y el desarrollo sostenible en el marco del Proyecto Pacífico Sostenible.

Además, este análisis aborda la necesidad de incorporar un enfoque de adaptación, dado que Centroamérica, aunque tiene una baja contribución global a las emisiones de gases de efecto invernadero, enfrenta una alta exposición a los impactos climáticos (Oppenheimer et al., 2019). Esto implica promover políticas y prácticas resilientes, fortalecer las capacidades locales y proteger los recursos naturales críticos para la sostenibilidad de las comunidades costeras y los ecosistemas. En las secciones siguientes, se detallan los métodos utilizados, los principales hallazgos y las implicaciones del cambio climático sobre las problemáticas existentes. Este informe no solo busca proporcionar una base científica sólida, sino también fomentar un diálogo inclusivo entre los actores clave para garantizar la sostenibilidad del GEM PACA frente a un futuro con proyecciones climáticas cambiantes.

2. Metodología

El presente informe fue elaborado mediante una metodología integral que combina análisis de datos climáticos, revisión bibliográfica y consultas a expertos. Se inició con la definición de conceptos clave relacionados con el cambio climático, como vulnerabilidad, adaptación, mitigación, resiliencia, proyección y escenarios climáticos, tomando como base los lineamientos del IPCC y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De esta manera, se contextualizaron sobre los impactos proyectados y el análisis de las proyecciones. Para evaluar los cambios esperados en Panamá, se seleccionaron las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, que representan escenarios de bajas, intermedias y altas emisiones, respectivamente. Se analizaron datos climáticos provenientes de modelos CMIP6, incluidos en el Sexto Informe del IPCC, centrándose en las proyecciones de temperatura, precipitación, nivel del mar y eventos extremos para los períodos 2030, 2050 y 2070.

Los datos históricos de temperatura y precipitación en Panamá, desde 1860 hasta 2020, fueron fundamentales para establecer una línea base de comparación. Estas cifras, extraídas de registros de Berkeley Earth y la Dirección Nacional de Cambio Climático, revelaron tendencias de calentamiento y variabilidad en los patrones de lluvia, que sirvieron como referencia para evaluar los cambios proyectados. Asimismo, se incluyeron análisis de fenómenos climáticos como ENSO (El Niño-Oscilación del Sur), con su influencia en la variabilidad climática local. Para los ecosistemas marinos y costeros, se evaluaron impactos como el blanqueamiento de corales, la intrusión salina en acuíferos y la intensificación de tormentas tropicales, utilizando datos globales de la NASA y NOAA Coral Reef Watch, así como proyecciones específicas para el Golfo de Panamá y el Golfo de Chiriquí.

El proceso también involucró consultas a expertos nacionales que aportaron perspectivas técnicas sobre los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad y adaptación de las zonas costeras. Los aportes de estos especialistas fueron integrados para enriquecer el análisis de los impactos y estrategias de adaptación en los ecosistemas costeros. Finalmente, los resultados se validaron mediante la comparación de fuentes internacionales y locales, asegurando coherencia entre las proyecciones globales y los impactos específicos en Panamá. El informe fue redactado de manera clara y precisa, estructurando la información con base en los hallazgos y utilizando gráficos y figuras que respaldan los análisis realizados. Esta metodología permitió abordar de manera rigurosa y contextualizada los impactos del cambio climático en los ecosistemas marino-costeros de Panamá.

3. Elementos conceptuales de referencia

Cambio climático: variación del estado del clima, identificado en los patrones de temperatura, precipitación y eventos extremos, atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, que transforma la composición de la atmósfera a nivel global y que se suma a la variabilidad natural del clima que se puede observar en períodos de tiempo comparables (IPCC, 2013).

Vulnerabilidad: grado de susceptibilidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos, con sus impactos sobre los ecosistemas. Esta, es función del carácter, la magnitud y la tasa de variación climática a la que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (UNFCCC, 2021a).

Adaptación: ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos reales o esperados a sus efectos, buscando reducir la vulnerabilidad o aumentar la resiliencia del sistema ante estos, moderando de esta forma el daño que se puede provocar y aprovechando las oportunidades beneficiosas (UNFCCC, 2021a).

Mitigación: todas aquellas intervenciones humanas encaminadas a reducir las fuentes o a potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero. Dentro de ello, se encuentran ejemplos como uso eficiente de los combustibles fósiles para procesos industriales o generación de electricidad, la introducción de energías renovables en las matrices energéticas de los países y la conservación de bosques y otros ecosistemas como "sumideros" para la captura de mayores cantidades de dióxido de carbono (UNFCCC, 2021a; IPCC, 2013).

Escenario climático: representación plausible del clima futuro, basada en un conjunto de dinámicas climatológicas definido específicamente para investigar las consecuencias de las acciones humanas sobre el cambio climático. En el Quinto Informe del IPCC se han definido 4 escenarios de emisiones, denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP), que representan distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo un escenario de mitigación estricto de emisiones (RCP2.6), 2 escenarios flexibles (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con emisiones altas (RCP8.5) (IPCC, 2014b).

Proyección climática: respuesta simulada del sistema climático a diferentes concentraciones de GEI y aerosoles, provocados por diferentes escenarios de emisiones. Frecuentemente, están basadas en simulaciones mediante modelos climáticos y supuestos relativos, por ejemplo, un posible futuro socioeconómico y tecnológico que puede o no darse (Eckstein et al., 2021).

Resiliencia climática: capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para adaptarse y recuperarse frente a una perturbación, generando estrategias de adaptación y reorganización, manteniendo su función esencial y su estructura (Schleussner et al., 2021).

Riesgo climático: probabilidad de que produzcan consecuencias adversas sobre los sistemas naturales, sociales o económicos como consecuencia del cambio climático. Este riesgo depende de una combinación entre la vulnerabilidad, la exposición y el peligro (UNICEF, 2020; Olcina, 2020).

Gestión del riesgo climático: estrategias de mitigación y adaptación para reducir la exposición y vulnerabilidad frente a amenazas climáticas, promoviendo resiliencia y sostenibilidad (Calderon et al., 2021).

4. Contexto: Proyecciones de cambio climático para la zona marino-costera

Centroamérica se ha reconocido como un hot-spot de cambio climático, dado que se ubica en una zona que la última mitad del siglo pasado registró, y se proyectan para el futuro, grandes transformaciones en el clima, principalmente en los patrones de precipitación, nivel del mar, temperaturas superficiales del mar y temperatura del aire (Rauscher et al., 2008). Según las proyecciones del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, para mediados del siglo se proyectan en escenarios de confianza alta, condiciones más secas en el norte de la región y más húmedas al sur, cambios asociados principalmente a sequías, aridez e incendios. Así mismo, se establece que, para finales del presente siglo, en escenarios de confianza alta, se experimentará aumentos en la temperatura entre los 2°C y los 6°C y disminuciones en el suministro de agua. En escenarios de confianza media se consideran cambios en los patrones de precipitación y la duración de los períodos secos, que de manera conjunta ponen en riesgo las actividades de piscicultura, sistemas de abastecimiento de agua, la salud y el bienestar de los ecosistemas (Hidalgo et al., 2017, IPCC, 2014). El nivel de impacto que puede tener el cambio climático sobre el sistema está impulsado por distintos factores y es contexto dependiente. En Centroamérica, por ejemplo, se estiman aumentos en las temperaturas medias del aire, el calor extremo, el nivel relativo del mar, la erosión costera, las olas de calor marina y la acidez de los océanos. Mientras que se proyectan disminuciones en las olas de frío, las heladas y las precipitaciones medias. Lo que podría afectar gravemente la biodiversidad, los ecosistemas y la infraestructura costera (Ranasinghe, et al. 2021).

Panamá, por su parte, es un país altamente vulnerable a los impactos de la variabilidad y el cambio climático. Los cambios mostrados en la variabilidad climática en las últimas décadas se han incrementado alrededor de 1-2°C, lo que ha puesto en evidencia una condición de vulnerabilidad creciente en sectores económicos clave, como lo son: recursos hídricos, agricultura, salud humana, zonas marino-costeras, centros urbanos e infraestructuras (Ministerio de Ambiente, 2023). Se ha observado para el periodo 1860-2020 una tendencia sostenida al calentamiento (Figura 1 en Anexo I), donde se registran temperaturas medias de $25.45 \pm 0.48^{\circ}\text{C}$ para 1860 y de $27.34 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ para 2020, representando una variación de $+1,89^{\circ}\text{C}$ en 160 años. A su vez, las temperaturas máximas variaron $+1.98$, al pasar de $28.74 \pm 1.38^{\circ}\text{C}$ en 1866 a 30.72 ± 0.32 ; mientras que la temperatura media mínima diaria presentó una variación de $+0.74$, al pasar de $22.35 \pm 0.78^{\circ}\text{C}$ en 1866 a $23.09 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$ en 2018. Asimismo, se presentan cambios en los mínimos y máximos estacionales en los últimos años, como se observa en la figura 2 del Anexo I (Berkeley Earth, 2023).

El aumento en la temperatura no es el único factor asociado al cambio climático que puede afectar los ecosistemas y las poblaciones del país, entre ellos también se encuentran la incidencia de sequías prolongadas; la mayor frecuencia de lluvias intensas originadas por tormentas tropicales que conlleva a deslizamientos e inundaciones. Entre 1971 y 2020, Panamá experimentó cambios significativos en los patrones de precipitación, con variaciones estacionales marcadas según la región. En las provincias del Pacífico oriental y central, las precipitaciones disminuyeron considerablemente por década, mientras que en las provincias del Caribe occidental y central se registraron incrementos importantes durante el mismo período.

Las provincias orientales de Darién y la comarca de Emberá - Wounaan mostraron las reducciones más pronunciadas en las precipitaciones, con descensos de 109,34 mm y 103,71 mm por década, respectivamente, especialmente durante los meses de verano. En el Arco Seco, ubicado en el

Pacífico central, también se observaron disminuciones significativas, siendo más intensas en las provincias de Los Santos (-76,66 mm) y Herrera (-58,93 mm).

Aunque Chiriquí, en el Pacífico occidental, no evidenció cambios destacados, otras áreas del Pacífico han registrado una disminución en las lluvias, lo que afecta la disponibilidad de agua y la resiliencia de los ecosistemas marino-costeros.

Por otro lado, en el Caribe panameño se han registrado aumentos en la precipitación, lo que sugiere una redistribución de los patrones de lluvia en el país. Si bien estos cambios no impactan directamente el Pacífico, pueden influir en la circulación atmosférica regional y en la disponibilidad de humedad en la zona intertropical, afectando la dinámica climática en ambos litorales. En cuanto a los eventos de lluvias extremas de corta duración, como los de 1 día o 5 días, no se observaron cambios significativos, posiblemente debido a la influencia persistente de la variabilidad interanual asociada al fenómeno ENSO (Figura 3 en Anexo I) (The World Bank Group, 2024).

Así, se perciben reducciones significativas de la precipitación en las provincias del Pacífico oriental y central, mientras que se presentan aumentos a lo largo del Caribe central y occidental. Que puede contrastarse con el índice promedio de días consecutivos secos (CDD) y el índice promedio de días consecutivos húmedos (CWD) elaborado por la Dirección de Cambio Climático en el 2022. El análisis de los índices de días consecutivos secos (CDD) y húmedos (CWD) en Panamá revela patrones climáticos distintivos según la región. En general, la región del Pacífico, incluyendo zonas como Veraguas y el Arco Seco, experimenta períodos más prolongados de sequía, con un promedio anual de hasta 128 días consecutivos sin lluvia. Por el contrario, la región Caribe, que abarca desde Bocas del Toro hasta la cuenca del Canal, se caracteriza por tener períodos de sequía más cortos, con un promedio de alrededor de 6 días consecutivos (Figura 4, Anexo I). En cuanto a los días consecutivos húmedos (CWD), se observa un patrón inverso. Las regiones del Pacífico y el Arco Seco presentan los períodos más cortos de humedad continua, con promedios anuales que pueden ser tan bajos como 3 días. La región Caribe, aunque también presenta valores bajos, tiende a tener períodos ligeramente más prolongados de humedad en comparación con las otras regiones (Figura 5, Anexo I) (Ministerio de Ambiente, 2023).

En cuanto a la temperatura superficial del mar, los datos de la NOAA Coral Reef Watch, tanto para la estación del Pacífico Este (ubicada en el Golfo de Panamá) como para la estación del Pacífico Oeste (ubicada en el Golfo de Chiriquí), muestran una tendencia al aumento en la temperatura superficial del mar para el período 1985-2024 (NOAA, 2024). En la estación virtual del Pacífico Este, se registra un incremento aproximado de 0.9 °C, mientras que, para la estación del Pacífico Oeste, se registra un incremento aproximado de 0.6 °C (Figuras 6 y 7 en Anexo I). Estas variaciones se presentan en un escenario marcado por el incremento de la temperatura media de la superficie del Pacífico ecuatorial central y oriental, en donde se ha observado un aumento en la intensidad y frecuencia de las olas de calor marinas (Oliver et al., 2018).

El calentamiento del océano desempeña un papel fundamental en los cambios globales que actualmente impactan negativamente a los ecosistemas marino-costeros, con proyecciones de intensificación debido al cambio climático. La expansión térmica del agua, resultado directo del incremento en su temperatura, junto con el derretimiento de glaciares y placas de hielo, contribuye significativamente al aumento del nivel medio del mar, afectando gravemente a los ecosistemas costeros y a las comunidades que dependen de ellos. Este fenómeno también intensifica la

frecuencia y severidad de tormentas tropicales y huracanes, lo que aumenta el riesgo de inundaciones costeras y la erosión de las costas. Uno de los impactos más críticos del aumento de la temperatura superficial del agua es el blanqueamiento de los corales, causado por el estrés térmico, que no solo reduce la biodiversidad, sino que también pone en riesgo los servicios ecosistémicos esenciales que brindan estos hábitats. Entre estos servicios se incluyen la protección natural contra tormentas y el sustento de actividades pesqueras, fundamentales para la seguridad alimentaria de muchas comunidades costeras (IPCC, 2021).

De forma similar, se reportan cambios en el nivel relativo del mar para Balboa, un sector portuario ubicado en la entrada del Canal de Panamá en el océano Pacífico. La serie temporal que se muestra en la figura 8 del Anexo I representa los cambios observados en el nivel del mar relativo (línea negra) registrados en la estación mareográfica de Balboa entre 1900 y 2015. De manera comparativa, se presenta la estimación del cambio simulado para este mismo período (línea azul). Se observan oscilaciones relativamente grandes a corto plazo en el nivel del mar local, influenciadas por la variabilidad climática natural, que en el Pacífico están asociadas con el fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur). En los últimos años, se ha registrado una variación promedio de 0,08 metros por año, con una clara tendencia al aumento del nivel del mar. Este fenómeno refleja los efectos de la expansión térmica de los océanos y el deshielo de los casquetes polares, procesos impulsados por el cambio climático (Oppenheimer, 2019).

En cuanto al promedio de las anomalías del nivel del mar para la costa Pacífica de Panamá (figura 9 en Anexo I), se observan anomalías positivas hasta de 0.1 m en los últimos años, y las anomalías negativas han disminuido, mostrando una tendencia al aumento del nivel medio del mar (NASA, 2024). Demás estudios realizados por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente de Panamá (2023) indican que se proyecta un aumento del nivel medio del mar para la costa Pacífica entre los 0.19 y los 0.22 m generando impactos en las zonas costeras como: aumento de la erosión, retroceso de la línea costera, desplazamiento de humedales e inundación y alteraciones sobre los ecosistemas costeros.

Si bien no se cuenta con estudios específicos que analicen en detalle los cambios en las características del oleaje a lo largo de la costa del Pacífico, Ros-García et al. (2020) identificaron un incremento estimado del 5% en la altura significativa de las olas hacia 2070, en comparación con el período de referencia 1980-2009. Este cambio está asociado con alteraciones en los patrones de viento y precipitaciones, eventos extremos que generan mar de fondo y variaciones en el nivel medio del mar. Estas modificaciones en las variables oceanográficas no solo afectan las alturas de las olas y las dinámicas de las corrientes, sino que también exacerban fenómenos como la erosión en playas, zonas costeras urbanas, humedales y ecosistemas de manglar. Actualmente, la erosión y sedimentación en estos ecosistemas no se encuentra bajo monitoreo sistemático, lo que dificulta la cuantificación precisa de sus impactos. Esto representa un desafío significativo para la gestión costera, ya que la falta de información limita la capacidad de diseñar estrategias efectivas de mitigación y adaptación (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).

En la tabla 1 que se presenta a continuación, se resumen los impactos del cambio climático sobre los diferentes ecosistemas marino-costeros.

Tabla 1. Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros.

Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros	
Ecosistema	Impacto del cambio climático
Playas y playas urbanas	<p>Erosión costera acelerada por aumento del nivel del mar y marejadas más intensas, retrocediendo la línea de costa.</p> <p>Pérdida de infraestructura turística urbana en áreas como malecones, hoteles, sistemas hídricos y viviendas ubicadas en zonas costeras.</p> <p>Mayor riesgo de inundaciones en áreas urbanas costeras durante tormentas.</p> <p>Disminución de atractivos turísticos naturales, de lo que depende los ingresos económicos de muchas comunidades locales.</p>
Arrecifes de coral	<p>Blanqueamiento como respuesta a los aumentos de la temperatura del agua produce estrés térmico y provoca la expulsión de las algas simbióticas. A nivel global, el blanqueamiento de los corales asociado al aumento de la temperatura es una de las amenazas más destacadas que enfrentan estos ecosistemas. Sin embargo, este blanqueamiento es, en esencia, una respuesta temporal al estrés ambiental. Aunque se ha observado mortalidad en algunas áreas, se ha notado también que ciertos arrecifes del Pacífico panameño están demostrando signos de resiliencia, adaptándose mejor a estos episodios de blanqueamiento, que suelen darse en temporada de El Niño (Romero-Torres et al., 2020).</p> <p>Por otro lado, el Pacífico panameño presenta condiciones ligeramente más ácidas en comparación con otras regiones del Pacífico, lo que podría influir en la respuesta de los corales ante el cambio climático (Romero-Torres et al., 2020; Manzello, 2020). La acidificación oceánica, causada por el aumento de la concentración de CO₂ en el agua, reduce la calcificación necesaria para el mantenimiento de los esqueletos coralinos, debilitándolos frente a tormentas y otros eventos extremos.</p>
Manglares	<p>Inundación permanente de las raíces como consecuencia del ascenso del nivel del mar, lo que limita su capacidad de regeneración.</p> <p>La erosión costera destruye la línea de costa poniendo en peligro el hábitat de los manglares y debilitando su función como defensa natural contra tormentas y eventos extremos.</p> <p>La salinización del suelo afecta a especies menos tolerantes al aumento de la salinidad.</p>
Estuarios	<p>Alteración en la salinidad como consecuencia del aumento del nivel del mar, afectando las especies adaptadas a condiciones específicas de salinidad.</p> <p>El incremento en la turbidez del agua afecta la fotosíntesis de especies vegetales sumergidas.</p>
Humedales costeros	<p>Intrusión salina en aguas dulces altera la composición de especies vegetales y animales, lo que reduce la biodiversidad endémica y favorece el ingreso de especies invasoras.</p> <p>Disminución en la capacidad de almacenamiento de carbono debido a la degradación del suelo orgánico.</p>

Pastos marinos	<p>Las praderas de pastos marinos en el Pacífico Tropical Oriental, que incluye la costa pacífica de Panamá, están compuestas por tres géneros y cuatro especies: <i>Halophila baillonii</i>, <i>Halodule beaudettei</i>, <i>Halodule wrightii</i>, y <i>Ruppia maritima</i>. Estas especies de pastos marinos son consideradas colonizadoras y suelen formar praderas efímeras debido a su alta capacidad de regeneración y resistencia a perturbaciones, aunque con una menor estabilidad a largo plazo. En cuanto a la distribución, estas praderas se han reportado de manera esporádica en algunas zonas del Pacífico Oriental, aunque su presencia no ha sido documentada tal extensamente como en la costa pacífica de los países vecinos Costa Rica y El Salvador. En Panamá, la presencia de praderas marinas no está completamente estudiada, y su distribución podría estar subestimada debido a la falta de mapeo detallado, por lo que el potencial efecto del cambio climático es desconocido. No obstante, su distribución limitada hace que estas poblaciones sean vulnerables a la desaparición y cambios en las condiciones oceanográficas podrían tener un impacto grave e incluso reversible si no se toman medidas preventivas. Es recomendable el estudio más detallado de estas poblaciones en el Pacífico panameño..</p>
-----------------------	--

5. Escenarios de cambio climático y sus efectos para los recursos marino-costeros

5.1. Proyecciones de cambio climático y efectos sobre los ecosistemas marino-costeros

El informe de cambio climático (AR6) del IPCC (2021), genera diferentes escenarios para Centroamérica, que muestran cambios importantes en diferentes variables climáticas. En este informe, se encontró que en relación con el periodo de referencia 1850-1900, la temperatura media para Centroamérica, bajo los escenarios CMIP6, varía dependiendo de las actividades antropogénicas y el rumbo que tome el desarrollo socioeconómico a nivel mundial, entre 1,4°C a 1,5°C para el periodo 2021-2024, 1,7°C a 2,4°C para el lapso 2041-2025 y de 1,8°C a 4,4°C para el periodo de 2081 a 2100, como se muestra en la figura 10 (Anexo I).

Las proyecciones de temperatura para Panamá en los próximos decenios muestran un claro aumento en la temperatura media anual, con variaciones dependiendo del escenario socioeconómico considerado. Bajo el escenario SSP1-2.6, que representa un futuro de bajas emisiones con esfuerzos internacionales significativos para mitigar el cambio climático, se espera un aumento moderado de la temperatura. Para 2030, las temperaturas promedio podrían aumentar entre 0,5°C y 1,0°C en comparación con el periodo de referencia (1995-2014), alcanzando un promedio de aproximadamente 26°C. Para 2050, se proyecta un incremento de entre 1,0°C y 1,8°C, alcanzando temperaturas de entre 26,5°C y 27,3°C. Para 2070, el aumento podría llegar a 2,5°C, con temperaturas promediando 27,5°C a 28°C (Cárdenas Castillero, 2022).

En contraste, bajo el escenario SSP3-7.0, que refleja un futuro con mayores emisiones debido a un crecimiento económico desigual y políticas nacionales limitadas, el aumento de la temperatura será más pronunciado. Para 2030, se proyecta un aumento de 0,7°C a 1,2°C, alcanzando los 26,2°C de temperatura media anual, y para 2050, el incremento podría ser de 1,2°C a 2,5°C, alcanzando temperaturas entre 26,8°C y 27,5°C (Figura 11, Anexo I). Para 2070, el aumento de temperatura podría superar los 3°C, con un promedio anual de 27,5°C a 28,5°C. Las mayores variaciones en la temperatura para este escenario se presentan en el Golfo de Chiriquí (World Bank Group, 2024).

Finalmente, bajo el escenario SSP5-8.5, que representa un futuro con altas emisiones debido a la falta de políticas de mitigación y una rápida expansión económica, las proyecciones de temperatura son las más altas. En 2030, se espera un aumento de 1,0°C a 1,5°C, alcanzando los 26,5°C en promedio, y para 2050, las temperaturas podrían aumentar entre 1,5°C y 2,8°C, con un promedio de 27°C a 28°C. Para 2070, las temperaturas podrían superar los 3°C, con un promedio de 28°C a 29°C, afectando principalmente regiones costeras y bajas del Pacífico. Si bien, todas las regiones del país presentan aumentos significativos en las temperaturas máximas y mínimas, el Arco Seco proyecta el mayor incremento y la mayor variación porcentual se refleja en la región del Pacífico Occidental, como se observa en las figuras 12, 13 y 14 en Anexo I (Cárdenas Castillero, 2022).

El aumento de las temperaturas tiene impactos significativos en los ecosistemas marinos y costeros, afectando su biodiversidad, funcionalidad y capacidad para sostener a las comunidades humanas. Las alteraciones en la temperatura afectan la distribución y el comportamiento de especies marinas, como peces y corales, poniendo en riesgo hábitats sensibles como los arrecifes, que enfrentan un mayor blanqueamiento por el estrés térmico (Watson et al., 2019). Ecosistemas clave como los manglares y pastos marinos también sufren degradación, reduciendo su capacidad de proteger las costas de inundaciones y tormentas (García et al., 2023). Además, el calentamiento de los océanos

altera las corrientes y la disponibilidad de nutrientes, disminuyendo la productividad marina y afectando la pesca, lo que compromete la economía y la seguridad alimentaria (Fermepin et al., 2024; Doney et al., 2012). Este calentamiento favorece la proliferación de patógenos y algas tóxicas, amenazando la salud de especies marinas y aumentando el riesgo de contaminación en la cadena alimentaria humana (De Silva y Soto, 2012). Por último, las temperaturas más altas intensifican fenómenos extremos como tormentas tropicales y olas de calor marinas, lo que agrava la erosión costera, destruye hábitats y pone en riesgo a las comunidades costeras (Jain et al., 2021).

Para el caso de la precipitación, las proyecciones indican cambios significativos en los patrones de lluvia, que incluyen disminuciones y aumentos que varían espacialmente. Bajo el escenario SSP1-2.6, para 2030, las precipitaciones podrían aumentar a nivel nacional en un promedio de 45.09 mm anuales con variaciones regionales, donde las provincias del Pacífico, especialmente la región del Arco Seco y el Pacífico oriental, experimentarán un aumento en las precipitaciones principalmente durante la temporada de lluvias. Para 2050, el incremento proyectado sería de aproximadamente 45.09 mm de precipitación anual adicional, con una mayor intensificación en la estación lluviosa y algunas regiones como el oeste experimentando aumentos durante la estación seca. Para 2070, se proyecta un aumento general en la precipitación anual de 45.09 mm o más, con zonas específicas como la costa del Pacífico y las provincias del occidente registrando variaciones significativas debido a las precipitaciones extremas más frecuentes (Cárdenas Castillero, 2022).

En el escenario SSP3-7.0, se espera que las provincias del Pacífico experimenten grandes aumentos anuales en términos de precipitación, el mayor de estos incrementos se prevé para Darién de 120,10 mm anuales para 2050, seguido de 118,21 mm para Los Santos y 103,79 mm para Emberá. No solo se observa un aumento en la intensidad de las lluvias extremas, sino también en la distribución de las precipitaciones, lo que podría generar mayores riesgos de inundación y desbordamiento de ríos, además de la alteración de los ciclos agrícolas (World Bank Group, 2024).

Finalmente, bajo el escenario SSP5-8.5, para 2030, las precipitaciones anuales podrían aumentar en 70 mm, con incrementos notables durante la temporada de lluvias, afectando principalmente la región costera. Para 2050, el aumento podría ser de hasta 120 mm anuales, con un cambio más evidente en la intensidad de las lluvias, especialmente en las zonas del Pacífico. Para 2070, se proyecta un aumento aún mayor de 150 mm anuales en algunas regiones del país, con precipitaciones extremas que podrían duplicar la frecuencia de eventos de lluvia intensa, afectando gravemente la infraestructura y los ecosistemas. Estas proyecciones subrayan los riesgos asociados con un aumento de las lluvias extremas, que aumentará la frecuencia de inundaciones y deslizamientos de tierra, mientras que la variabilidad en la estación seca podría causar escasez de agua en ciertas zonas rurales (Cárdenas Castillero, 2022).

En las figuras 12, 13 y 14 (Anexo I), se observa el aumento o disminución promedio de las precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas bajo el escenario SSP5-8.5, un escenario de altas emisiones. Los resultados muestran una tendencia al aumento de las temperaturas máximas y mínimas para todas las regiones hidroclimáticas del país. En términos de precipitación, se observa una disminución para las regiones occidentales del país, que en el Caribe y Pacífico Occidental podría representar afectaciones en la generación de energía dado que allí se encuentran las centrales hidroeléctricas más importantes del país. En la región del Pacífico Oriental, Central y Arco Seco se proyectan aumentos en las precipitaciones aumento en la frecuencia de fenómenos

extremos de precipitación, que en las zonas costeras puede significar inundaciones por eventos de sobre elevación de marea, contaminación de los acuíferos por intrusión salina, contaminación de las fuentes hídricas para consumo humano poniendo en peligro la salud de las comunidades, aumento en los fenómenos de erosión y afectación de ecosistemas costeros como manglares y humedales (Ministerio de Medio Ambiente, 2023; Ministerio de Ambiente, 2021).

Las proyecciones de ascenso del nivel del mar para la costa pacífica de Panamá indican un incremento continuo con variaciones según los escenarios climáticos SSP1-2.6, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, debido al calentamiento global y el derretimiento de glaciares. Para 2030, bajo el escenario SSP1-2.6, el nivel del mar podría aumentar aproximadamente 20 cm, mientras que en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 se proyectan incrementos mayores, alcanzando entre 25 cm y 30 cm, lo que incrementará el riesgo de inundaciones en zonas bajas y urbanas como el Golfo de Panamá. Estas áreas ya vulnerables enfrentarán impactos significativos en la infraestructura urbana, el turismo y los ecosistemas de manglares, que actúan como barreras naturales frente a tormentas.

Para el año 2050, bajo el escenario SSP1-2.6, el nivel del mar podría aumentar entre 25 cm y 30 cm, mientras que en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5, el incremento alcanzará entre 30 cm y 40 cm. Este ascenso afectará tanto a áreas costeras urbanas como rurales, intensificando la erosión costera, reduciendo la superficie de playas y generando pérdidas importantes en tierras agrícolas y humedales. Estas pérdidas tendrán implicaciones directas en la inseguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades costeras, especialmente en regiones vulnerables. Además, la infraestructura crítica, como puertos y carreteras, sufrirá daños recurrentes debido a inundaciones más frecuentes y prolongadas.

Para el año 2070, las proyecciones indican un incremento de 35 cm en SSP1-2.6, mientras que en SSP3-7.0 y SSP5-8.5 el nivel del mar podría superar los 50 cm. Este escenario podría generar inundaciones permanentes en amplias áreas costeras, desplazamientos de comunidades enteras y una transformación drástica de los ecosistemas marino-costeros. Manglares, estuarios y humedales estarán gravemente afectados, disminuyendo su capacidad para mitigar tormentas y la erosión. Asimismo, la intrusión salina en acuíferos costeros comprometerá el suministro de agua potable y las actividades agrícolas, exacerbando la vulnerabilidad de comunidades socioeconómicamente precarias.

El análisis de los impactos destaca que, incluso en el escenario más optimista (SSP1-2.6), los riesgos asociados al ascenso del nivel del mar son significativos, mientras que en SSP3-7.0 y SSP5-8.5 los impactos serán devastadores para las áreas altamente vulnerables. En estudios realizados a más largo plazo por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (2022) se observan aumentos en el nivel del mar para la costa de Pacífico de hasta 6 metros en los próximos 100 años bajo un escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) y de hasta 4 metros en un escenario optimista con emisiones intermedias (SSP2-4.5) (Figura 15, Anexo I).

El impacto del ascenso del nivel del mar en la costa Pacífica de Panamá generará diferentes impactos que se manifiestan en múltiples dimensiones en las áreas costeras más vulnerables. A medida que el nivel del mar se eleva con rapidez, el agua salada avanza hacia zonas cada vez más alejadas de la costa, generando erosión costera, inundación de humedales y la contaminación de acuíferos y suelos agrícolas. Estas alteraciones comprometen gravemente los hábitats de especies

marinas y terrestres, afectando la biodiversidad y la capacidad de los ecosistemas para ofrecer servicios críticos como la protección frente a tormentas y marejadas. Como resultado de un estudio realizado por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente (2022) se prevé un impacto del aumento del nivel del mar de 2,01% con relación a la superficie total del territorio nacional que representa 0,19 m en la costa Pacífica para un escenario SSP5-8.5 (fig. 16, Anexo I). Entre las áreas más vulnerables se encuentran importantes zonas turísticas, agrícolas y pesqueras como Boca Chica y Pedregal en Chiriquí; Río Hato, Natá y Aguadulce en Coclé; y Paris, Parita y Llano Bonito en Herrera, que dependen directamente de recursos naturales amenazados. Además, localidades como Punta Chame y Playa Leona en Panamá Oeste, junto con Tocumen y Juan Díaz en la provincia de Panamá, enfrentan un riesgo significativo debido a la urbanización creciente en zonas susceptibles a inundaciones, de manera similar, la Isla guana en Los Santos enfrente riesgos en el suministro de agua potable y la ejecución de actividades agrícolas por la intrusión salina en los acuíferos costeros.

Los manglares del Pacífico panameño representan el 93% de la cobertura nacional de bosque de mangle, concentrándose principalmente en las provincias de Chiriquí, Darién, Panamá y Veraguas. En conjunto, estas provincias comprenden aproximadamente 145.588 hectáreas de manglares, lo que equivale al 82% de la cobertura total del país (MiAmbiente, 2017) (Figura 19 y 20, Anexo I). Las zonas costeras del Pacífico panameño, en particular la Bahía de Parita, el Golfo de Montijo y el Golfo de Chiriquí, son ecosistemas de vital importancia que se encuentran en una situación crítica debido al cambio climático. Estos territorios son altamente vulnerables a los efectos del aumento del nivel del mar y a eventos extremos como sequías e inundaciones (Figuras 16, 17 y 18 , Anexo I). Según el Índice de Vulnerabilidad del Ministerio de Ambiente (2021), estas regiones, que suelen coincidir con territorios indígenas, enfrentan una situación aún más compleja debido a su histórica vulnerabilidad social y económica. Además, son lugares de alta importancia ecosistémica al albergar gran parte de los bosques de manglar del Pacífico Panameño (Figura 18), que también se encuentran en un estado de conservación vulnerable frente a un nivel de amenaza medio. La Bahía de Panamá, con una de las extensiones de manglar más grandes de la región, es clave para la biodiversidad y la protección costera (Page, Montenegro y Vitari, 2018). Sin embargo, como se observa en los mapas (Figura 13, 16 y 17, Anexo I), no se espera que los efectos del cambio climático, como el incremento de temperatura y el ascenso del nivel del mar, sean tan severos en esta zona como en el Golfo de Chiriquí y Bahía de Parita, donde la geomorfología costera y la mayor exposición a variaciones climáticas incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas.

Así mismo, se encuentran en Los Santos, el Golfo de Montijo y la Isla de Coiba, áreas de anidación de tortugas (Figura 19, Anexo I), que pueden verse afectadas por el aumento de las temperaturas y el ascenso del nivel del mar, que genera cambios sobre las condiciones que deben tener las tortugas para lograr el éxito reproductivo, impulsando a que cambie la composición de las poblaciones (puede nacer mayor cantidad de hembras como consecuencia del aumento de la temperatura en los lugares de incubación) (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).

5.2. Impacto del cambio climático sobre los problemas transzonales y compartidos identificados

Declive de los recursos pesqueros

El declive de los recursos pesqueros (detectado como un problema transzonal y compartido) afecta tanto la biodiversidad marina como los medios de vida de las comunidades costeras y se ve directamente exacerbado por los efectos del cambio climático. Entre las causas inmediatas, el aumento de la temperatura del mar y las variaciones en los patrones climáticos afectan directamente la distribución, el comportamiento y la capacidad de recuperación de las especies marinas. Estas alteraciones, combinadas con prácticas pesqueras insostenibles como el uso de artes no selectivas y el incumplimiento de períodos de veda, debilitan aún más las poblaciones de peces. A nivel subyacente, la creciente demanda de productos pesqueros, junto con la desigualdad en la distribución de beneficios y los ingresos bajos en comunidades pesqueras, intensifican la presión sobre los recursos ya agotados. Además, las causas raíz, como la pobreza, la falta de alternativas económicas y el acceso limitado a información técnica, dificultan la implementación de estrategias adaptativas y de gestión sostenible. Además, factores como la alta demanda de pescado, la falta de trazabilidad de las especies y la desigualdad en la distribución de beneficios pesqueros exacerbaban la presión sobre los recursos. Las comunidades pesqueras, a menudo ubicadas en territorios altamente vulnerables al cambio climático, enfrentan mayores desafíos económicos y sociales, aumentando su dependencia de prácticas insostenibles. Este problema se ve agravado por la pobreza, la inequidad económica y de género, así como por una gobernanza deficiente que limita la implementación de medidas adaptativas y sostenibles.

Tabla 2. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transzonal y compartido declive de los recursos pesqueros (causas inmediatas (gris), causas subyacentes (azul) y causas raíz (verde)).

Declive de los recursos pesqueros	
Causas	Impacto del cambio climático
Exceso de esfuerzo pesquero: Afectaciones del equilibrio del ecosistema marino	Los aumentos de la temperatura del mar, la variación en los patrones climático y el blanqueamiento de corales por estrés térmico afectan la distribución y el comportamiento de las especies marinas, debilitando su capacidad de recuperación, que, aunado con el exceso del esfuerzo pesquero, hace más vulnerables las poblaciones de peces y disminuye aún más su capacidad de recuperación (Mendo et al., 2020).
Uso de artes no selectivas: Captura indiscriminada de especies	Las alteraciones climáticas disminuyen la disponibilidad de especies objetivo, lo que puede intensificar el uso de métodos no selectivos y aumentar la presión sobre la biodiversidad (Mendo et al., 2020). Además, los eventos climáticos extremos provocan pesca fantasma, referida a la pérdida o abandono de artes de pesca, generando pérdidas económicas para los pescadores e impactos letales para las especies (FAO, 2021). Los efectos de la variación de las condiciones oceanográficas sobre la fauna bentónica como arrecifes de coral, tienen también un impacto porque afectan a zonas de reproducción reduciendo la disponibilidad de especies objetivo y, consecuentemente, aumentando la demanda de artes no selectivas para suplir ese declive.
Incumplimiento de períodos de veda, que permiten la recuperación de las poblaciones de peces	El estrés térmico puede generar cambios en los ciclos reproductivos de los peces, lo que dificulta el establecimiento y el cumplimiento de los períodos de veda que permiten a las poblaciones de peces recuperarse durante épocas de reproducción (Watson et al., 2019; Fansa Fernández, 2021; Collin y Ochoa, 2016).

Aumento de la demanda (no sostenible) del consumo de especies.	El cambio climático puede reducir la disponibilidad de ciertas especies, esto sumado a las costumbres propias del país en el consumo de pescado, intensifica la presión sobre los recursos pesqueros restantes (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Desigualdad en la distribución de beneficios pesqueros/ingresos bajos en comunidades locales.	Las comunidades pesqueras enfrentan mayores desafíos económicos a medida que los recursos disminuyen, además de que se encuentran en territorios altamente vulnerables al cambio climático, lo que agrava su dependencia de la pesca insostenible (Ministerio de Ambiente de Panamá, 2021).
Falta de trazabilidad	Las alteraciones en los patrones de migración y la redistribución de especies debido al cambio climático (Clarke et al., 2021) complican aún más la capacidad de rastrear su origen, además de que dificultan la vigilancia y monitoreo de las áreas de pesca, facilitando la pesca ilegal e intensificando la explotación de poblaciones vulnerables.
Pobreza y falta de alternativas económicas	Las alteraciones climáticas agravan la escasez de recursos y pueden generar altos impactos en poblaciones vulnerables, dentro de los que se encuentran las comunidades costeras y pesqueras, exacerbando su vulnerabilidad económica (Ministerio de Ambiente de Panamá, 2021).
Inequidad de género y económica	Los impactos climáticos en los ecosistemas marinos agravan la inseguridad económica en las comunidades pesqueras, donde las mujeres y los sectores más pobres enfrentan mayores barreras para adaptarse a los cambios y acceder a recursos.
Acceso limitado a información técnica y científica actualizada, lo que limita la toma de decisiones.	Actualmente, hay pocas fuentes de datos y sistemas de registro de la información que dificultan la toma de decisiones, las alteraciones que se están generando en los ecosistemas como consecuencia del cambio climático requieren de este tipo de datos para generar estrategias de gestión y adaptación (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Debilidades en la gobernanza (corrupción y falta de gestión política)	Los desafíos del cambio climático requieren una gobernanza eficiente para implementar medidas de mitigación, pero la falta de gestión adecuada obstaculiza la adaptación, dejando los recursos pesqueros más expuestos a los impactos climáticos (Vega Cervera, 2024).
Modelos de consumo no sostenibles (modelos de desarrollo y política económica)	El cambio climático incrementa las tensiones en los ecosistemas marinos, haciendo que las prácticas de consumo insostenibles resulten aún más perjudiciales para las poblaciones de peces, que ya enfrentan una presión creciente por la sobreexplotación.

Contaminación por vertidos y residuos sólidos

La contaminación por vertidos y residuos sólidos es un problema ambiental crítico que se ve intensificado por los efectos del cambio climático. Los fenómenos climáticos extremos, como las lluvias intensas, las inundaciones y los períodos de sequía prolongados, redistribuyen y arrastran desechos hacia ecosistemas vulnerables, agravando la contaminación en zonas costeras, ríos y océanos. El aumento del nivel del mar y las precipitaciones intensifican los vertidos incontrolados de aguas residuales y contaminantes químicos, mientras que las malas prácticas agrícolas y el uso desmedido de pesticidas incrementan la escorrentía de contaminantes hacia cuerpos de agua. A nivel subyacente, la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales, junto con la expansión de zonas urbanas e industriales, aumenta la presión sobre los ecosistemas. Además, las causas raíz, como la falta de inversión en sistemas de tratamiento, debilidades en la gobernanza hídrica y la ausencia de planes regionales para el manejo de desechos, limitan la capacidad de adaptación frente a estos impactos.

Tabla 3. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transzonal contaminación por vertidos y residuos sólidos (causas inmediatas (gris), causas subyacentes (azul) y causas raíz (verde).

Contaminación por vertidos y residuos sólidos	
Causas	Impacto del cambio climático
Abandono de residuos en zonas costeras: acumulación mal manejo de desechos	La variabilidad en los fenómenos de precipitación y el aumento del nivel del mar redistribuyen los desechos y dejan muchos de ellos al descubierto en playas, humedales y demás, por lo que podrían llevar los desechos hacia áreas vulnerables, agravando la contaminación de los ecosistemas costeros y las fuentes hídricas (Imbach et al., 2012 y 2015).
Vertidos incontrolados de aguas residuales, productos químicos y otros contaminantes	Las inundaciones asociadas a la sobrelevación del nivel del mar y la ocurrencia de eventos extremos como consecuencia del cambio climático pueden sobrecargar sistemas de saneamiento deficientes, incrementando los vertidos sin tratamiento adecuado en cuerpos de agua (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Contaminación de los ríos (cuencas compartidas o arrastre por corrientes)	Los periodos de sequía prolongados y las lluvias más intensas, en conjunto con el aumento en el uso de pesticidas por la alteración en las propiedades del suelo, provocan un mayor arrastre de contaminantes desde áreas agrícolas, urbanas e industriales hacia los ríos y eventualmente, hacia los océanos (Imbach et al., 2012 y 2015).
Ausencia/mal funcionamiento del servicio de recolección y tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos.	La falta de infraestructura o el mal estado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos hacen que los contaminantes lleguen a los cuerpos de agua sin ser procesados, aumentando la carga contaminante en el ambiente marino.
Falta de educación ambiental/concienciación	La falta de conciencia sobre los impactos del cambio climático dificulta la adopción de prácticas sostenibles, como el manejo adecuado de los residuos y el consumo responsable de agua y energía.
Expansión de zonas urbanas e industriales	El aumento de lluvias y mayor frecuencia de inundaciones incrementa el riesgo de vertidos industriales y urbanos no controlados (Jain et al., 2021).
Malas prácticas agrícolas	Los eventos de precipitación extremos y la intensificación del ENSO en su fase cálida y fría, aceleran la escorrentía de fertilizantes y pesticidas hacia ríos y mares, amplificando efectos como la eutrofización (Jain et al., 2021).
Falta de inversión para el tratamiento de aguas residuales y protección de los cuerpos de agua.	La creciente presión climática sobre los sistemas de gestión hídrica hace aún más urgente y costosa la inversión en infraestructuras adecuadas, que, además, puedan adaptar sus criterios de diseño a los escenarios climáticos proyectados.
Debilidades en la gobernanza en la gestión de los recursos hídricos.	La incapacidad de coordinar esfuerzos para abordar los desafíos climáticos y de contaminación, impide la gestión adecuada de los ecosistemas y la adaptación de las comunidades al cambio climático, empeorando la degradación de los recursos hídricos (Vega Cervera, 2023).
Ausencia de planes de manejo de desechos a nivel regional	La falta de estrategias integrales a nivel regional dificulta la implementación de soluciones adaptativas frente a los impactos combinados del cambio climático y la contaminación.

Especies invasoras

El cambio climático está acelerando y facilitando la propagación de especies invasoras, convirtiéndose en una amenaza significativa para la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas nativos (Bellard et al., 2012, Gretta et al., 2017). Cambios en las corrientes oceánicas y patrones climáticos facilitan el transporte de estas especies a través de basura marina, mientras que la alta demanda de recursos pesqueros incrementa la acuicultura, elevando el riesgo de introducción de

organismos no nativos. Además, el aumento de la temperatura, las alteraciones en la salinidad y el pH del agua permiten que especies invasoras prosperen en hábitats donde antes no podían sobrevivir, desplazando a las especies locales. A nivel subyacente, el incremento del comercio global y la conectividad intensifican su introducción no controlada, agravada por la falta de conciencia y educación ambiental sobre este problema. Las causas raíz, como las deficiencias en la gobernanza y regulación ambiental, junto con el desconocimiento generalizado, limitan la capacidad de implementar medidas efectivas para prevenir y controlar esta amenaza. El cambio climático no solo amplifica las condiciones que favorecen la expansión de estas especies, sino que también desafía la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades dependientes de ellos.

Tabla 4. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema transnacional especies invasoras (causas inmediatas (gris), causas subyacentes (azul) y causas raíz (verde)).

Especies invasoras	
Causas	Descripción
Transporte de especies invasoras en basura marina.	Los cambios en las corrientes s como consecuencia del cambio en los patrones climáticos (Capotondi et al., 2015) pueden generar alteraciones en el movimiento de basura marina, lo que puede modificar el transporte de especies invasoras a nuevas regiones (Rech, Borrell & García-Vásquez, 2016) (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Comercio y tráfico de especies (acuicultura)	En Panamá, el consumo y la demanda de recursos pesqueros es alta y la presión climática sobre la pesca natural puede aumentar la acuicultura para poder suplir esta demanda, lo que eleva el riesgo de introducción y escape de especies no nativas de los ecosistemas naturales.
Alteración de las condiciones oceanográficas y climáticas (aumento de la temperatura del agua, cambios de salinidad, etc.)	El aumento de la temperatura, los cambios en la salinidad y pH del mar alteran los patrones de distribución y migración de las especies. De manera que, en zonas donde antes las especies invasoras no podían sobrevivir limitadas por el clima y las condiciones ambientales, ahora puedan prosperar, afectando la biodiversidad local (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Aumento del comercio y conectividad global	Los cambios en los patrones de precipitación y las temperaturas a nivel mundial generan alteraciones en la disponibilidad de agua y alimentos, aumentando la necesidad de su comercio e intercambio entre nuevas zonas, permitiendo la introducción no controlada de especies invasoras.
Falta de educación ambiental/concienciación	La falta de conciencia sobre los impactos del cambio climático en la propagación de especies invasoras limita las acciones preventivas necesarias para su control.
Adaptación y proliferación de especies invasoras en ecosistemas donde anteriormente no podían sobrevivir o competir.	Las condiciones ambientales cambiantes crean nuevos nichos ecológicos que las especies invasoras pueden ocupar fácilmente, superando a las especies nativas en la competencia por recursos (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Deficiencias en la gobernanza y regulación ambiental	El aumento en la complejidad de los ecosistemas y la imprevisibilidad de las interacciones entre especies dificulta la planificación efectiva y agrava la falta de regulación (Verga Cervera, 2024).
Desconocimiento e insuficiente educación ambiental	El desconocimiento sobre cómo el cambio climático potencia la amenaza de especies invasoras limita la capacidad de las comunidades y gobiernos para implementar soluciones efectivas.

Declive de la biodiversidad

El cambio climático está deteriorando los ecosistemas del Pacífico panameño, afectando la biodiversidad y los medios de vida locales. Los manglares del Golfo de San Miguel y Chiriquí han sufrido una degradación significativa debido a la expansión agrícola y la acuicultura de camarones, reduciendo la conectividad ecológica y afectando la pesca artesanal, valorada en más de \$225 millones anuales en 2015 (MiAmbiente, 2024; Del Cid Peren, 2022). En el Archipiélago de Las Perlas, la deforestación ha disminuido drásticamente la cobertura de manglares, afectando especies clave y su capacidad de captura de carbono (McGowan et al., 2010; Vega et al., 2015). Los arrecifes de coral en el Golfo de Chiriquí y Las Perlas han experimentado blanqueamiento por el aumento de temperatura del agua, afectando tanto a los corales como a especies marinas dependientes (Randall, 2019). Fenómenos como El Niño han intensificado esta mortalidad, mientras que la sedimentación por deforestación y agricultura asfixia los corales al alterar sus condiciones esenciales (Mate, 2003; Laborda, 2018). El calentamiento de las aguas también ha modificado la distribución de especies en el Golfo de Montijo, desplazando peces a mayores profundidades y reduciendo las capturas en la pesca artesanal, impactando la economía local (Clemente et al., 2019).

Además, los cambios en los usos del suelo, impulsados por la expansión agrícola e industrial hacia ecosistemas naturales, incrementan la presión sobre los hábitats críticos. Los eventos climáticos extremos, como lluvias intensas e inundaciones, agravan la contaminación de los ecosistemas y aumentan la sobreexplotación de recursos naturales. A nivel subyacente, la incapacidad para implementar políticas ambientales adaptativas y la falta de conciencia sobre los impactos del cambio climático limitan las acciones preventivas y de adaptación necesarias para proteger la biodiversidad. En las causas más profundas, deficiencias en la gobernanza ambiental, la pobreza y la falta de alternativas económicas en comunidades vulnerables intensifican la explotación de recursos, exacerbando la pérdida de biodiversidad.

Tabla 5. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema compartido declive de la biodiversidad (causas inmediatas (gris), causas subyacentes (azul) y causas raíz (verde)).

Declive de la biodiversidad	
Causas	Impacto del cambio climático
Reducción de atributos de la población /capacidad de la reproducción.	Las temperaturas extremas y la variabilidad estacional afectan a los ciclos reproductivos, disminuyendo el éxito reproductivo de muchas especies y la distribución de sus poblaciones (en las tortugas, mayores temperaturas impulsan a la eclosión de mayor cantidad de hembras) (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Cambio de los usos de suelo.	Las alteraciones en las variables climáticas (temperaturas, precipitación, vientos) generan cambios en los pisos térmicos e impulsan la expansión agrícola e industrial hacia ecosistemas naturales, intensificando la presión sobre ellos (Rajin et al., 2013).
Contaminación por diversas fuentes	Las lluvias intensas y las inundaciones relacionadas con el cambio climático incrementan el arrastre de contaminantes hacia ecosistemas vulnerables (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Sobreexplotación de los recursos naturales	La disponibilidad de recursos naturales como los peces, la madera o minerales puede verse afectada como consecuencia de los efectos del cambio climático, aumentando la probabilidad de que se exploten de manera intensiva.

Declive de la biodiversidad	
Causas	Impacto del cambio climático
Alteración de las condiciones oceanográficas y climáticas (aumento de la temperatura del agua, cambios de salinidad, etc.)	El aumento de la temperatura y la acidificación de los océanos afectan directamente los ecosistemas marinos, reduciendo la biodiversidad y favoreciendo la proliferación de especies invasoras (Watson J et al., 2019).
Incapacidad en la implementación efectiva de la normativa ambiental y pesquera	Las políticas no adaptadas al cambio climático no logran abordar las amenazas emergentes, como la migración de especies o la pérdida de hábitats críticos, por lo que se convierte en un reto implementar la normativa contexto dependiente de manera efectiva.
Falta de educación ambiental/concienciación	La falta de conciencia sobre las vías en que el cambio climático afecta la biodiversidad limita las acciones preventivas y de adaptación (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Deficiencias en la gobernanza y regulación ambiental	La falta de políticas adaptativas y articulación de actores dificulta la protección de la biodiversidad frente a los impactos del cambio climático (Verga Cervera, 2024).
Desconocimiento e insuficiente educación ambiental	El desconocimiento sobre la interacción entre cambio climático y biodiversidad limita la adopción de soluciones integrales.
Pobreza y falta de alternativas económicas	El cambio climático afecta desproporcionadamente a comunidades que históricamente han sido más vulnerables y cuyos territorios se encuentran más expuestos a sus impactos, intensificando su dependencia de recursos naturales para sobrevivir (Ministerio de Ambiente de Panamá, 2021).

Declive de la calidad del agua

El cambio climático está agravando el declive de la calidad del agua en Panamá, afectando tanto a las fuentes hídricas como a los ecosistemas asociados. Los eventos de lluvias intensas y la variabilidad climática incrementan el arrastre de contaminantes hacia los cuerpos de agua, mientras que las inundaciones colapsan los sistemas de tratamiento de aguas residuales, liberando desechos sin procesar. En las zonas costeras, el ascenso del nivel del mar y los eventos extremos generan intrusión salina en los acuíferos y redistribuyen residuos sólidos, afectando tanto a los ecosistemas costeros como a las fuentes de abastecimiento. Además, la escorrentía de pesticidas y agroquímicos, exacerbada por lluvias más intensas y erosión del suelo, aumenta los niveles de contaminación y eutrofización en ríos y océanos. A nivel subyacente, la falta de infraestructura adecuada y la ausencia de educación ambiental perpetúan estas problemáticas, mientras que la expansión urbana y las malas prácticas agrícolas intensifican la presión sobre los recursos hídricos. En las causas más profundas, la falta de inversión en infraestructuras resilientes, las debilidades en la gobernanza y las limitaciones económicas en comunidades vulnerables agravan la contaminación del agua, comprometiendo su calidad y disponibilidad a largo plazo.

Tabla 6. Impactos del cambio climático sobre las causas del problema compartido declive de la calidad del agua (causas inmediatas (gris), causas subyacentes (azul) y causas raíz (verde)).

Declive de la calidad del agua	
Causas	Impacto del cambio climático
Vertidos directos e incontrolados	El aumento en las lluvias genera a su vez aumento en el volumen de contaminantes arrastrados hacia los cuerpos de agua, intensificando la contaminación por vertidos sin control (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).

Declive de la calidad del agua	
Causas	Impacto del cambio climático
Falta de tratamiento adecuado de aguas servidas	El aumento de eventos climáticos extremos, como inundaciones, colapsa sistemas de tratamiento de aguas residuales, liberando a las fuentes hídricas contaminantes sin tratar.
Acumulación de residuos en zonas costeras	La variabilidad de eventos como tormentas tropicales y eventos de marejadas asociadas al cambio climático redistribuyen y aumentan el impacto de los residuos en zonas urbanas costeras, al igual que en ecosistemas clave como humedales y manglares. Asimismo, el ascenso del nivel del mar y los eventos extremos pueden provocar intrusión salina en los acuíferos y contaminando las fuentes de abastecimiento de agua en zonas costeras (comunicación personal durante la realización de entrevistas a actores clave, diciembre 2024).
Escurrimiento de pesticidas y agroquímicos	Las lluvias más intensas y la erosión relacionada con las alteraciones en los regímenes climáticos aumentan el transporte de pesticidas y fertilizantes por escurrimiento, llevando estos desde áreas agrícolas hacia ríos y océanos, aumentando los niveles de contaminación y eutrofización de las fuentes hídricas.
Ausencia/Mal funcionamiento del servicio de recolección y tratamiento de aguas residuales	Fenómenos como sequías prolongadas y lluvias extremas dificultan el mantenimiento y funcionamiento adecuado de estas infraestructuras.
Falta de educación y concienciación ambiental	La falta de una adecuada sensibilización pública sobre la importancia de mantener la calidad del agua y las mejores prácticas para su conservación contribuye a la persistencia de prácticas contaminantes.
Expansión de zonas urbanas e Industriales	El desplazamiento climático y el cambio de condiciones de temperatura y precipitación puede impulsar la urbanización de nuevas áreas, generando presión sobre los ecosistemas naturales que cumplen la función de reguladores hídricos (Sastre, 2018).
Malas prácticas agrícolas	La variabilidad climática y las sequías prolongadas pueden generar erosión y disminución de nutrientes en los suelos, incrementando el uso de agroquímicos y a su vez, intensificando su acumulación en los cuerpos de agua por medio de la escurrimiento.
Falta de inversión para el tratamiento de aguas residuales y protección de los cuerpos de agua	Los efectos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar, hacen que las inversiones en infraestructuras resilientes sean aún más urgentes, pero las limitaciones económicas persisten.
Debilidades en la gobernanza y falta de planificación territorial integral	La falta de políticas adaptativas dificulta la gestión del agua frente a eventos climáticos extremos y la alteración de ecosistemas críticos (Vega Cervera, 2024).
Pobreza y falta de alternativas económicas	Las comunidades vulnerables enfrentan mayores desafíos para adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes, intensificando prácticas que deterioran la calidad del agua.

6. Hallazgos relevantes

El cambio climático representa una amenaza crítica para los ecosistemas marino-costeros del Pacífico de Panamá, poniendo en riesgo su biodiversidad, funcionalidad y los servicios ecosistémicos esenciales que proporcionan a las comunidades humanas. Este fenómeno se manifiesta en un aumento sostenido de la temperatura media, que ha registrado un incremento de 1,89°C entre 1860 y 2020, con proyecciones que anticipan aumentos de hasta 4,4°C hacia finales del siglo bajo escenarios de altas emisiones. Este cambio térmico no solo impacta los ecosistemas directamente, sino que también intensifica procesos climáticos asociados, como el ascenso del nivel del mar, estimado en un rango de 0,19 a 0,22 m para 2050. Este fenómeno genera efectos devastadores como la erosión costera, la intrusión salina en acuíferos y el desplazamiento de comunidades humanas, con impactos específicos en zonas críticas como Boca Chica, Río Hato, Punta Chame y otras áreas costeras del país.

El incremento de la temperatura y la variabilidad en los patrones de precipitación exacerbaban la vulnerabilidad de los ecosistemas marino-costeros frente a eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas, lluvias intensas e inundaciones. Las regiones del Pacífico Oriental y Central han experimentado reducciones significativas en las precipitaciones, mientras que las zonas del Caribe muestran aumentos, reflejando una variabilidad espacial compleja que compromete la estabilidad de los sistemas naturales y humanos. Estas alteraciones afectan directamente la disponibilidad de agua dulce, lo que aumenta la presión sobre los acuíferos costeros y promueve la intrusión de agua salada, agravando la crisis hídrica en comunidades dependientes de pozos. Adicionalmente, los cambios en las precipitaciones y el aumento de los días consecutivos secos afectan la productividad agrícola, intensificando la vulnerabilidad socioeconómica de las regiones rurales y costeras.

Entre los ecosistemas más afectados se encuentran los manglares, humedales y arrecifes de coral, que desempeñan roles clave en la resiliencia costera. Los manglares, por ejemplo, enfrentan inundaciones permanentes que limitan su capacidad de regeneración, mientras que la salinización del suelo afecta especies menos tolerantes, debilitando su función como barreras naturales frente a tormentas y eventos extremos. En los arrecifes de coral, el estrés térmico provocado por el aumento de la temperatura del agua induce eventos de blanqueamiento, comprometiendo la biodiversidad marina y la provisión de servicios ecosistémicos como la protección costera y el sustento de pesquerías, sin embargo, algunos arrecifes en Panamá, especialmente en Uva Island, han mostrado una notable recuperación después de eventos de estrés térmico, siempre y cuando las condiciones del ambiente mejoren (Romero-Torres et al., 2020). La acidificación oceánica, causada por la absorción de CO₂, reduce la capacidad de calcificación de los corales y otros organismos marinos, intensificando su vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos.

El impacto sobre los recursos pesqueros, una de las principales fuentes de sustento económico para comunidades costeras, es particularmente preocupante. Según la FAO (2014), el sector pesquero empleó a 21,665 personas en 2012, con el 86% trabajando en la flota artesanal (principalmente en el Pacífico) y el 14% en la flota industrial. Las exportaciones de pescados y mariscos en Panamá tuvieron un descenso del 73.8%, disminución dada por factores como la contaminación, la sobreexplotación, la pesca ilegal y el cambio climático (Castrejón y Bucaram, 2020). El aumento de la temperatura del mar y las alteraciones en los patrones climáticos afectan

los ciclos reproductivos, la distribución y la abundancia de especies marinas, debilitando la capacidad de recuperación de las poblaciones pesqueras. Además, prácticas insostenibles como el uso de artes no selectivas, la introducción de material sintético en la cadena trófica por la degradación de las artes de pesca y el incumplimiento de períodos de veda agravan la presión sobre los recursos ya disminuidos. A esto se suma la proliferación de zonas anóxicas o de bajo oxígeno en algunas áreas del Pacífico panameño, resultado de procesos como la eutrofización por el aporte excesivo de nutrientes desde actividades terrestres y la alteración de las corrientes marinas. Estos fenómenos comprometen la disponibilidad de oxígeno en los ecosistemas, afectando la supervivencia de especies comerciales y reduciendo aún más la productividad pesquera. Este escenario está acompañado por la proliferación de especies invasoras, facilitada por el cambio climático, que altera los ecosistemas marinos y genera nuevos desafíos para su manejo y conservación (Mendo et al., 2020).

La contaminación por vertidos y residuos sólidos es otro problema crítico exacerbado por el cambio climático. Las lluvias intensas e inundaciones redistribuyen desechos y contaminantes hacia ecosistemas vulnerables, aumentando la carga de polución en zonas costeras, ríos y océanos. Esto no solo afecta la calidad del agua, sino que también pone en riesgo la salud de las comunidades humanas y de las especies marinas. La falta de infraestructura adecuada para el manejo de residuos sólidos y aguas residuales agrava esta situación, destacando la necesidad de inversiones en saneamiento y gestión de desechos.

La respuesta a estos desafíos debe ser integral y basada en enfoques ecosistémicos que promuevan la resiliencia climática y la sostenibilidad. Entre las estrategias prioritarias se encuentra la restauración de manglares y humedales, esenciales para mitigar los impactos del ascenso del nivel del mar y proteger las costas de tormentas e inundaciones. Asimismo, es fundamental fortalecer los sistemas de monitoreo de biodiversidad y océanos, lo que permitirá una gestión adaptativa y basada en evidencia. La capacitación de las comunidades locales en prácticas sostenibles, como la agricultura orgánica y la diversificación económica, puede reducir la presión sobre los ecosistemas y mejorar la resiliencia socioeconómica.

La cooperación regional y transfronteriza es esencial para abordar problemas compartidos como el declive de los recursos pesqueros, la contaminación y la proliferación de especies invasoras. Esto incluye la implementación de políticas armonizadas para la protección de ecosistemas marino-costeros, la regulación de actividades extractivas y el fortalecimiento de la gobernanza ambiental. En este contexto, Panamá debe liderar esfuerzos en la planificación espacial marina, el diseño de áreas marinas protegidas y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza, como el manejo sostenible de pesquerías y la restauración de arrecifes de coral.

7. Conclusiones

- **La temperatura en Panamá ha aumentado 1,89°C desde 1860, con proyecciones de hasta 4,4°C para finales de siglo bajo escenarios de altas emisiones.** Esto afecta la biodiversidad, los ciclos reproductivos de especies marinas y la funcionalidad de los ecosistemas, por lo que es necesario implementar sistemas de monitoreo continuo de la temperatura y las alteraciones en ecosistemas marino-costeros que permitan abordar los vacíos en información existente y tener conocimiento sobre los impactos sobre ecosistemas claves. Generar acciones que permitan a las especies sensibles al calor, como corales y peces, adaptarse a los cambios, promoviendo la restauración de manglares y pastos marinos, que actúan como amortiguadores térmicos.
- **Se proyecta un aumento del nivel del mar de 0,19 a 0,22 m para 2050, sin embargo, en proyecciones de altas emisiones se tienen ascensos del nivel del mar por encima de 0,5 m para el 2070,** lo que generará erosión costera, intrusión salina y desplazamiento de comunidades. Para mitigar estos efectos, se deben generar y priorizar planes de gestión de riesgo de áreas críticas vulnerables que ya han sido identificadas por medio de diversos estudios que en este informe se citan.
- **Las regiones del Pacífico Oriental y Central han experimentado reducciones significativas en las precipitaciones, afectando la disponibilidad de agua y la productividad agrícola.** A largo plazo, el cambio climático podría traer cambios significativos en los patrones de lluvia, generando aumentos en la precipitación en temporada lluviosa y disminución en la temporada seca, además del aumento en la ocurrencia de eventos extremos. Para ello, la planeación integrada de las cuencas hidrográficas y la generación de planes de gestión de riesgo, son herramientas cruciales para la adaptación al cambio.
- **Manglares, humedales y arrecifes de coral, ecosistemas estratégicos en la Bahía de Panamá, Golfo de Chiriquí y Bahía de Pirita, están bajo estrés debido a inundaciones, salinización y blanqueamiento coralino.** Si bien algunos de estos ecosistemas están mostrando signos de resiliencia al cambio, es de gran importancia contar con mayor información sobre su salud actual y cómo estos ecosistemas responden a las alteraciones que se están generando en su entorno. La implementación de programas de monitoreo en áreas protegidas, programas de ciencia comunitaria y ciudadana que permitan tener un seguimiento continuo del estado de los ecosistemas, son acciones de gran importancia para su protección y conservación.
- **Tanto la pesca artesanal como la pesca industrial en Panamá se está viendo afectada por factores como la pesca ilegal, prácticas pesqueras insostenibles, la contaminación y la alteración de los ecosistemas,** que están reduciendo las poblaciones de peces y en consecuencia, afectando la seguridad alimentaria y los medios de vida tanto de las comunidades costeras, como de las industrias dedicadas al sector pesquero. Al ser un problema compartido y transzonal, hay acciones que deben ejecutarse a nivel nacional y a nivel internacional. El establecimiento de vedas pesqueras basadas en los sistemas de monitoreo, la promoción de la pesca sostenible, la diversificación económica en

comunidades costeras y el fortalecimiento de la gobernanza pesquera con enfoque de adaptación al cambio climático, son acciones que se pueden implementar a nivel nacional para contrarrestar el problema. De igual manera, es necesario establecer acuerdos y políticas fronterizas con países vecinos que permitan tener sistemas de monitoreo, vigilancia y seguimiento para factores como la pesca ilegal, pesca fantasma y contaminación, generando herramientas de cooperación para la mitigación de estos efectos sobre las poblaciones de peces.

- **La ocurrencia de eventos climáticos, la sobreelevación del nivel del mar y la alteraciones que se puedan generar sobre los patrones de circulación marina redistribuyen desechos y contaminantes, afectando la calidad del agua, la salud de los ecosistemas y la salud pública, tanto en Panamá como en países vecinos.** Las acciones para abordar esta problemática se deben implementar a nivel país y a nivel región. Desde la fuente, es importante asegurar el manejo adecuado de residuos sólidos y reducir la generación de residuos, así mismo, deben desarrollarse planes de contingencia para la gestión de residuos durante inundaciones y tormentas.
- **El cambio climático facilita la propagación de especies invasoras al generar alteraciones en la temperatura, salinidad y patrones de precipitación, que en conjunto, promueven la supervivencia de muchas especies en lugares que anteriormente no sobrevivían.** Esto, sumado a las prácticas inadecuadas de comercio y transporte marítimo, genera un fuerte ambiente de competencia con las especies nativas y alteran los ecosistemas. En este punto, la cooperación con países vecinos, el establecimiento de sistemas de alerta temprana compartidos, la regulación del comercio y la acuicultura para prevenir la introducción de especies invasoras no nativas, son acciones de gran importancia para abordar este problema. Así mismo, la generación de canales de comunicación continua y eficiente con países vecinos para el intercambio de información oportuna sobre el tráfico de especies.
- **La pérdida de biodiversidad dada por la contaminación, la sobreexplotación de los recursos, las malas prácticas en gestión de desechos y acelerada por el cambio climático, pone en riesgo la subsistencia de especies nativas, los medios de vida de las comunidades y la economía de la región.** Las acciones deben enfocarse en el aprovechamiento de las áreas protegidas ya establecidas en el país, creando corredores biológicos para conectarlas y facilitar la migración de especies, de igual manera, la socialización de las políticas ya existentes sobre adaptación al cambio climático, fomentando la participación comunitaria en la protección de la biodiversidad, impulsando la búsqueda de medios de vida alternativos y basados en la naturaleza.
- **El cambio climático está agravando la contaminación del agua en Panamá, exacerbando problemas como la intrusión salina en acuíferos, la escorrentía de agroquímicos y el colapso de sistemas de tratamiento de aguas residuales debido a eventos extremos, lo que reduce la calidad del agua y afecta tanto a ecosistemas como a comunidades.** La falta de inversión en infraestructuras resilientes, las debilidades en la gobernanza y la expansión urbana sin planificación adecuada intensifican la presión sobre los recursos hídricos. Para mitigar estos impactos, es crucial fortalecer la gestión

ambiental desde la producción en cultivos agroforestales, mejorar la infraestructura de saneamiento y promover prácticas sostenibles en sectores clave como la agricultura y la planificación urbana.

- **Los problemas transzonales como el declive de los recursos pesqueros, la contaminación por vertidos y residuos sólidos y las especies invasoras, requieren soluciones regionales coordinadas a lo largo de los países que conforman el PACA.** Es fundamental establecer acuerdos para la gestión sostenible de recursos marino-costeros, promover la cooperación científica y técnica entre países para compartir información que en muchos de ellos es escasa, generar sistemas de monitoreo que permitan entender a profundidad el comportamiento de los problemas y el impacto que tiene sobre los recursos de cada país, y finalmente, fortalecer la gobernanza ambiental con enfoque en la mitigación y adaptación al cambio climático. Igualmente, la implementación de programas de educación ambiental diseñados de manera conjunta, realizar campañas de sensibilización sobre la importancia de los ecosistemas marino-costeros y capacitar a líderes comunitarios en gestión ambiental, son acciones que permiten adoptar prácticas sostenibles a nivel regional.
- **La falta de información y datos sobre los impactos del cambio climático sobre las zonas del Pacífico panameño y sus ecosistemas, limita la toma de decisiones efectivas para la mitigación y adaptación.** En este sentido, la conexión con sistemas de monitoreo ya existentes y el establecimiento de sistemas que permitan abarcar los vacíos de información sobre variables climáticas, oceanográficas y ecosistemas, además de la promoción de la investigación científica sobre los impactos del cambio climático en ecosistemas marino-costeros, son de gran importancia para la gestión y planificación de acciones en zonas costeras altamente vulnerables a los efectos del cambio climático.

8. Bibliografía

Berkeley Earth. (2023). Sitio oficial, en <https://berkeleyearth.org/>.

Calderón, A., Francisco, N., & López, R. (2021). Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección de Cambio Climático. Panamá.

Cárdenas Castillero, G. (2022). Escenarios de cambio climático para la República de Panamá: Periodos 2030, 2050 y 2070. Vías socioeconómicas SSP1-2.6 y SSP5-8.5. Ministerio de Ambiente de Panamá. Disponible en: <https://www.miambiente.gob.pa>

Climate Risk Profile: Panama (2024). The World Bank Group.

Collin, R., & Ochoa, I. (2016). Influence of seasonal environmental variation on the reproduction of four tropical marine gastropods. *Marine Ecology Progress Series*, 555, 125-139. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps11815>

De Silva, S. S., & Soto, D. (2012). El cambio climático y la acuicultura: repercusiones potenciales, adaptación y mitigación. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. Documento técnico de pesca y acuicultura, 530.

Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Duffy, J. E., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., Galindo, H. M., Grebmeier, J. M., Hollowed, A. B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N. N., Sydeman, W. J., & Talley, L. D. (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 4(1), 11–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>

Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). The global climate risk index 2021. Bonn: Germanwatch.

Fansa Fernández, D. (2021). Impacto del blanqueamiento en la salud de los arrecifes de coral en el Caribe Sur de Costa Rica (Trabajo Fin de Grado, Doble Grado en Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales, Universidad de Cádiz). Universidad de Cádiz. Repositorio Institucional RODIN.

Fermepin, S., Watson, J. E., Grantham, H. S., & Mendez, M. (2024). Global marine conservation priorities for sustaining marine productivity, preserving biodiversity and addressing climate change. *Marine Policy*, 161, 106016.

García, A. L., Araúz, D., Martínez, E., & Molino, J. (2023). Environmental characterization of the estuarine zone of the Gulf of Montijo, province of Veraguas, Panama. *Plos one*, 18(6), e0283606.

GEF (2020). International Waters: Learning Exchange and Resource Network (IW:LEARN). Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Recuperado de <https://iwlearn.net/>

Hidalgo, H. et al. (2017). “Observed (1970–1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies”. En: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/29388>.

- Hoegh-Guldberg, O., et al. (2018).** Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. En: Global Warming of 1.5 °C. IPCC Special Report. Cambridge University Press.
- IPCC. (2013).** Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Imbach, P. et al. (2012).** Modelación de estados potenciales de equilibrio de la vegetación y del ciclo del agua terrestre de Mesoamérica bajo escenarios de cambio climático. En: https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/13/2/jhm-d-11-023_1.xml.
- Imbach, P. et al. (2015).** Impactos del cambio climático en los servicios hidrológicos ecosistémicos de Centroamérica
- IPCC. (2014).** AR5 climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability". En: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- IPCC. (2014b).** IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (R. K.Pachauri & L. A. Meyer (eds.)). IPCC.
- IPCC (2021).** Sixth Assessment Report: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jain, P. et al. (2021).** Observed Increases in Extreme Fire Weather Driven by Atmospheric Humidity and Temperature, en Nature Climate Change 12: 63–70.
- Mendo, J., Caille, G., Massutí, E., Punzón, A., Tam, J., Villasante, S., & Gutiérrez, D. (2020).** Recursos pesqueros. Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos, 291-346.
- Ministerio de Ambiente de Panamá. (2021).** Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050. Disponible en: <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/10/04-Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2050.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2023).** Cuarta Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático de Panamá. Disponible en: https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2023/08/4CNCC_2023_L.pdf
- NASA. (2024).** Data Analysis Tool, sitio oficial en: <https://sealevel.nasa.gov/data-analysis-tool>
- NOAA. (2024).** "Surface Sea Temperature". En: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/map.php>.
- Olcina, J. (2020).** Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 66(1), 159-182.

Oliver, E. et al. (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century, en Nature Communications 9(1), 1324

Oppenheimer, M., B.C. Glavovic , J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Picado, F. (2017). Seguridad hídrica y cambio climático en la región de América Central y el Caribe: informe técnico final. Ciudad de Panamá: Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). Recuperado de <https://bvearmb.do/handle/123456789/3084>

Ranasinghe, R. et al. (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. En: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter12.pdf.

Rauscher, S. et al. (2008). Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. En: https://www.researchgate.net/publication/233575752_Extension_and_Intensification_of_the_Meso-American_mid-summer_drought_in_the_twenty-first_century

Ros García, J. M., Irastorza-Ruigómez, L., & González Lezcano, R. A (2020). Previsiones del impacto sobre el cambio climático Archipiélago de San Blas (Panamá). Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales.

Sastre, R. M. (2018). Las migraciones humanas inducidas por el Cambio Climático: Desplazamiento Climático en la Región Autónoma de Guna Yala, Panamá (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE PANAMÁ).

Schleussner, C. F., Pfleiderer, P., Andrijevic, M., Vogel, M. M., Otto, F. E., & Seneviratne, S. I. (2021). Pathways of climate resilience over the 21st century. Environmental Research Letters, 16(5), 054058.

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2010). Atlas Ambiental de la República de Panamá. SINIA-PANAMÁ. Recuperado de la base de datos SINIA. <https://sinia.gob.pa/atlas-ambiental-de-la-republica-panama/>

UNFCCC. (2021a). Glossary of climate change acronyms and terms | UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronymsand-terms#t>.

UNICEF. (2020). Glosario climatico para jovenes. 27.

Vega Cervera, V. A. (2023). Optimización de la gobernanza del recurso hídrico en Panamá (Tesis doctoral, Universidad de Alicante). Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/135796>

Watson, J. et al. (2019). Tropical Forests in a Changing Climate, en Biodiversity and Climate Change.

World Bank Group. (2024). Climate Risk Country Profile: Panama. Washington, DC: The World Bank Group. Disponible en <https://www.worldbank.org>

9. Entrevistas

Para complementar los vacíos en la información encontrada mediante consulta secundaria, principalmente en la búsqueda de información sobre los impactos del cambio climático sobre los problemas transzonales y compartidos, se consultaron expertos en Cambio Climático en Panamá. Todos fueron contactados vía correo electrónico por parte de HIDRIA y se programaron reuniones de manera virtual en las que participaron diferentes integrantes del equipo.

- 1. Ligia de Castro de Doens** (lcastrodedoens@gmail.com)
Exdirectora Nacional de Cambio Climático
Fecha: 4 dic 2024 Hora: 09:00 a.m. Panamá /03:00 p. m. Madrid
- 2. Arnulfo Sánchez**
Oceanógrafo Físico-Jefe de Ambiente - Autoridad Marítima Panamá
(También le acompañó Ramón González - Biólogo AMP - Se desempeñó tiempo atrás como director de la ARAP)
Fecha: 4 dic 2024 Hora: 10:00 a.m. Panamá /04:00 p. m. Madrid
- 3. Juan Maté** (matej@si.edu)
Gerente para Asuntos Científicos y Operaciones del Smithsonian y punto focal para el desarrollo del ADT.
Fecha: 5 dic 2024 Hora: 10:00 a.m. Panamá /04:00 p. m. Madrid
- 4. René López** (rlopez@miambiente.gob.pa)
Coordinador del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático ADT Panamá
Fecha: 6 dic 2024 Hora: 10:00 a.m. Panamá /04:00 p. m. Madrid
- 5. Bernardo Peña** (bpena@miambiente.gob.pa) - Biólogo a cargo de la Sección de Costas y Mares del Ministerio de Ambiente; y **Joel E. Segundo** – PN Coiba
Fecha: 11 dic 2024 Hora: 1:00 p.m. Panamá /7:00 p. m. Madrid

Las transcripciones de todas las entrevistas pueden encontrarse en el Anexo II de este informe.

Anexo I. Figuras y mapas.

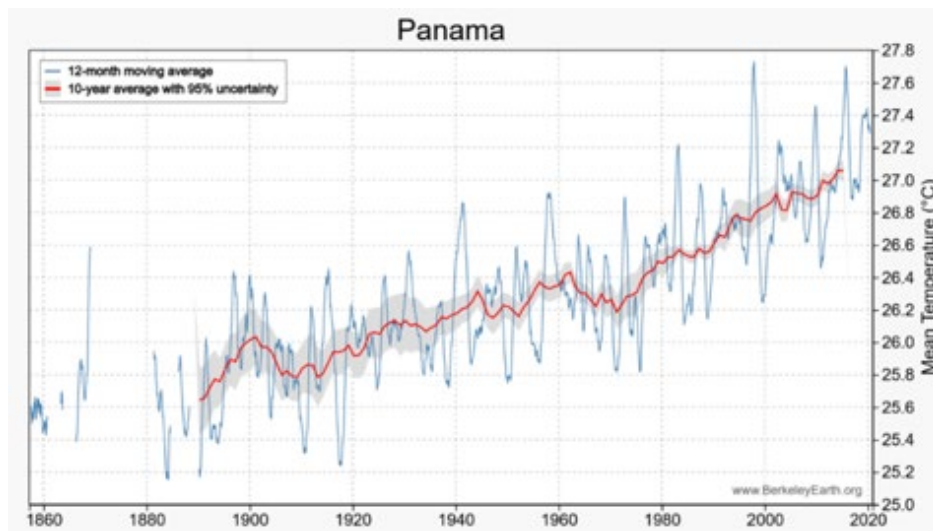


Figura 1. Temperatura media Panamá entre 1860 - 2020. Fuente: Berkeley Earth, 2023.

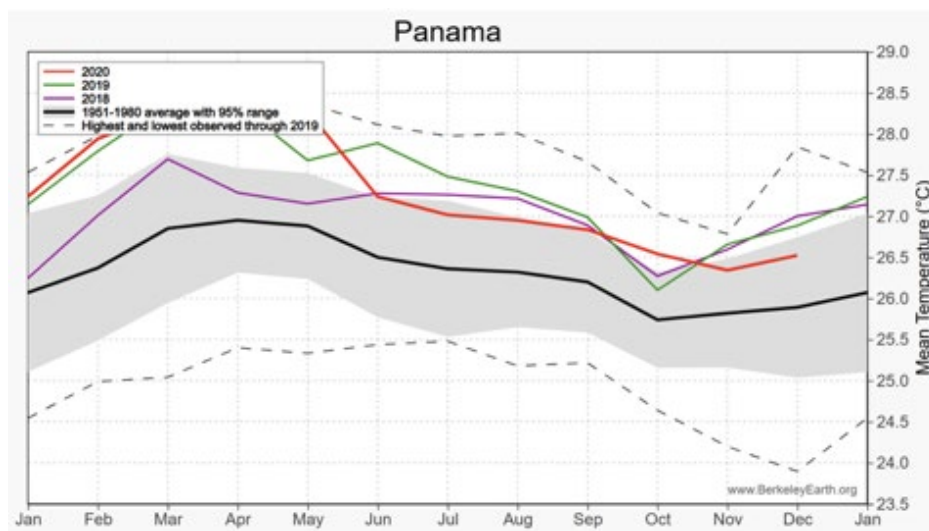


Figura 2. Cambios estacionales Panamá 1950 - 2020. Fuente: Berkeley Earth, 2023.

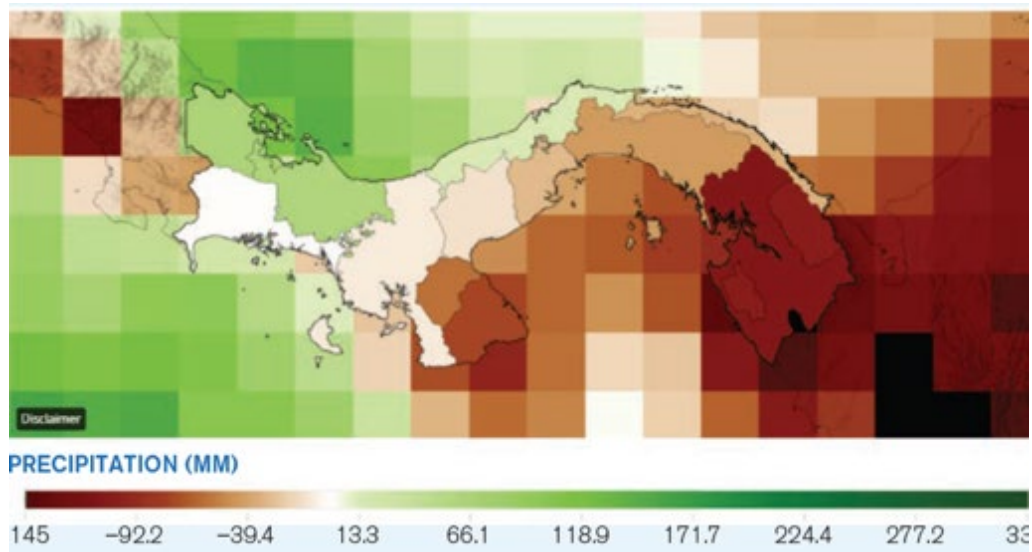


Figura 3. Tendencia de precipitación observada por década (1971-2020). Fuente: The World Bank Group, 2024.

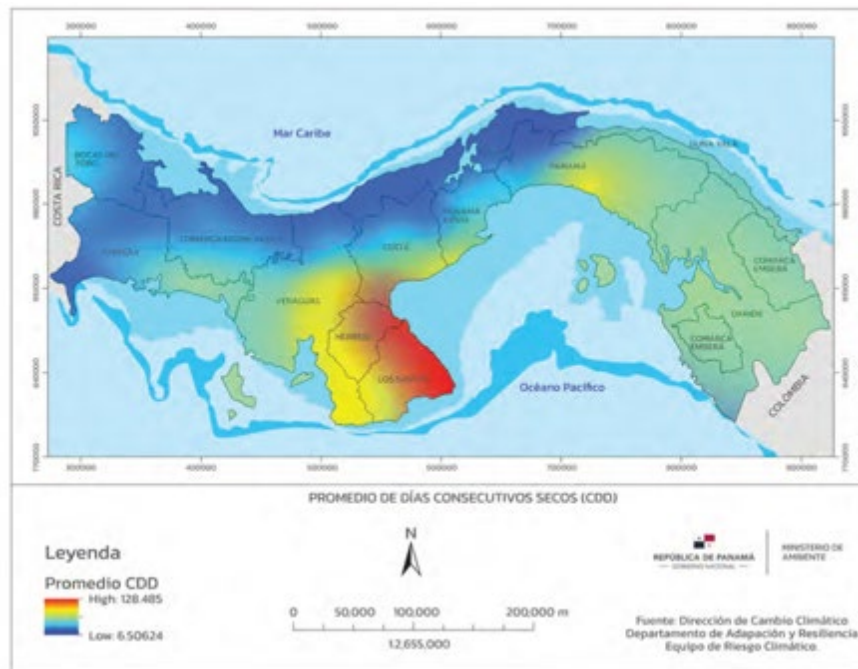


Figura 4. Promedio de Días Consecutivos Secos (CDD) Panamá desde 1988 - 2019. Fuente: Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente, 2022.

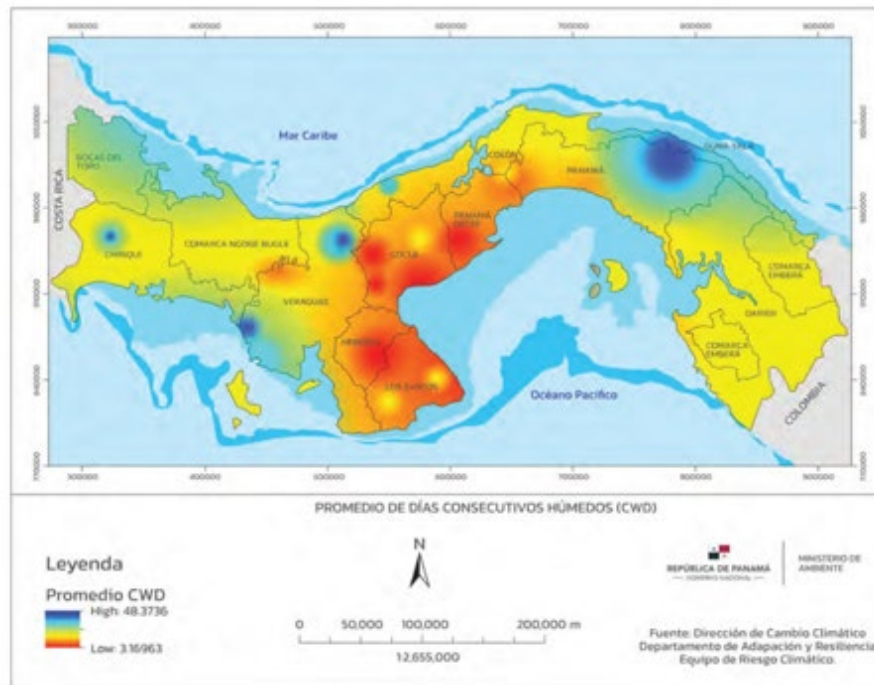


Figura 5. Promedio de Días Consecutivos Húmedos (CWD) Panamá desde 1988 - 2019. Fuente: Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente, 2022.

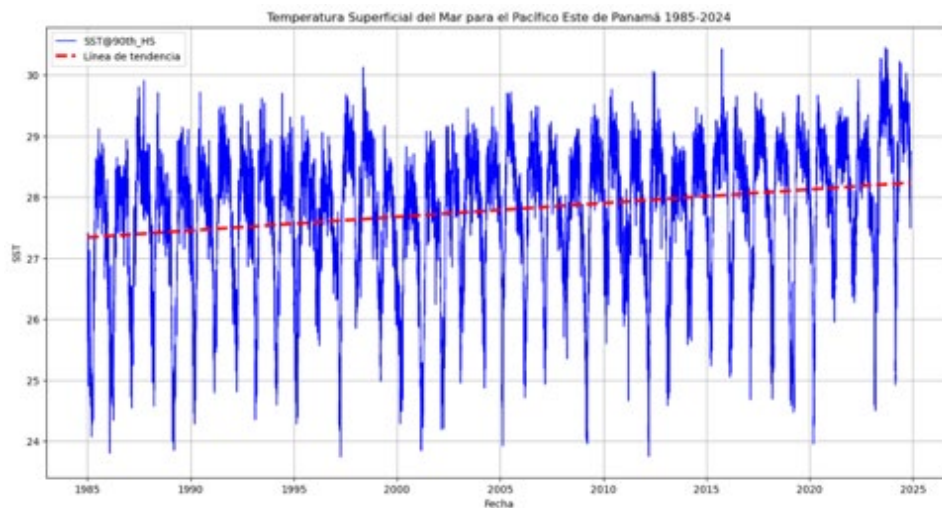


Figura 6. Temperatura Superficial del Mar para el Pacífico Este de Panamá 1985 - 2024 (Datos al día 26 de noviembre de 2024). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NOAA Coral Reef Watch, 2024.

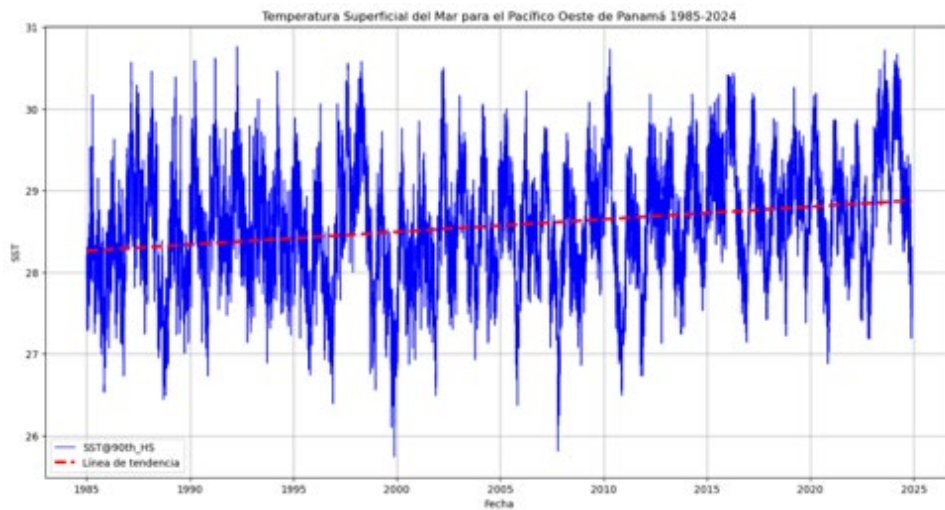


Figura 7. Temperatura Superficial del Mar para el Pacífico Oeste de Panamá 1985 - 2024 (Datos al día 26 de noviembre de 2024). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NOAA Coral Reef Watch, 2024.

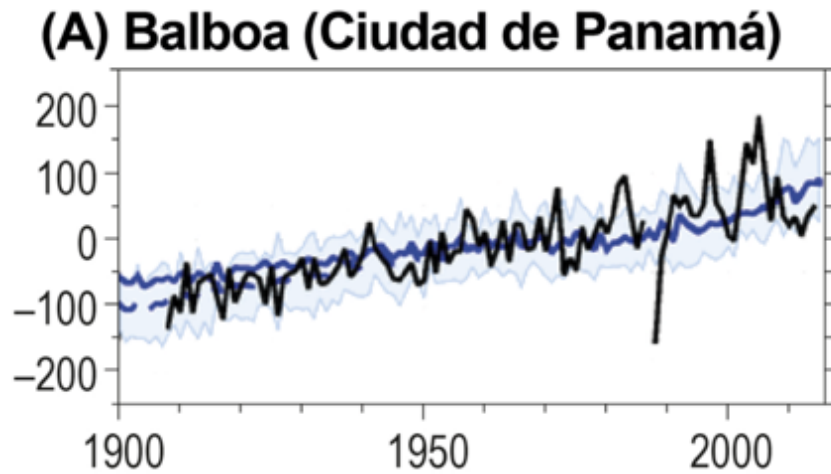


Figura 8. Cambio del nivel del mar relativo (mm) desde la estación mareográfica de Balboa para el período de 1900 a 2015. Fuente: Oppenheimer et al., 2019.

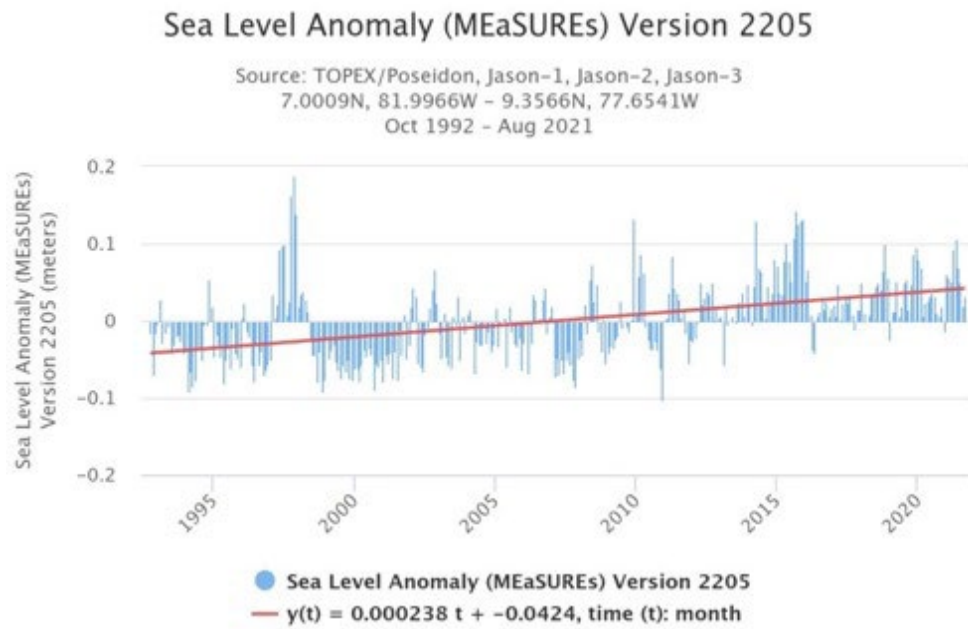


Figura 9. Anomalías promedio del nivel medio del mar para la costa Pacífica de Panamá. Fuente: NASA, 2024.

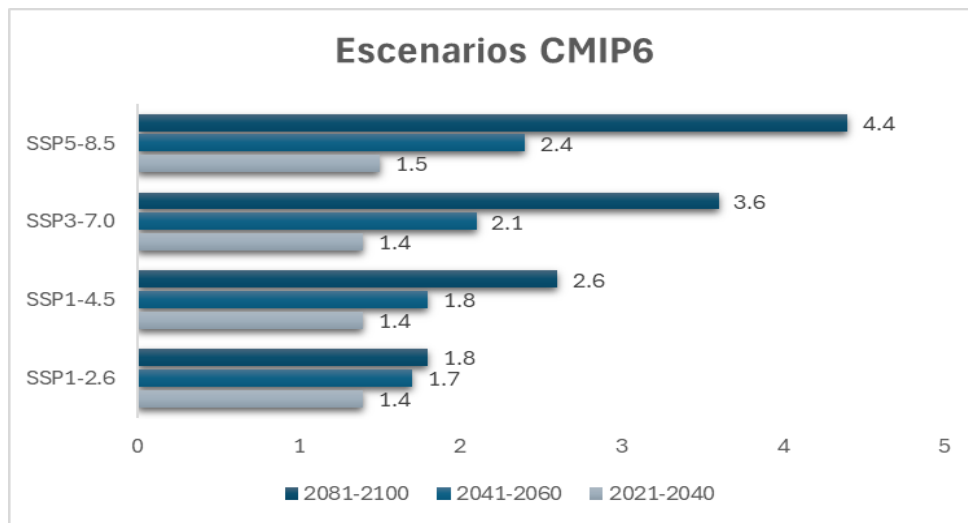


Figura 10. Cambio de temperatura media con respecto al periodo de referencia (1850 - 1900) para los escenarios CMIP6 (SSP1-2.6, SSP1-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). Fuente: Elaboración propia con datos IPCC, 2021.

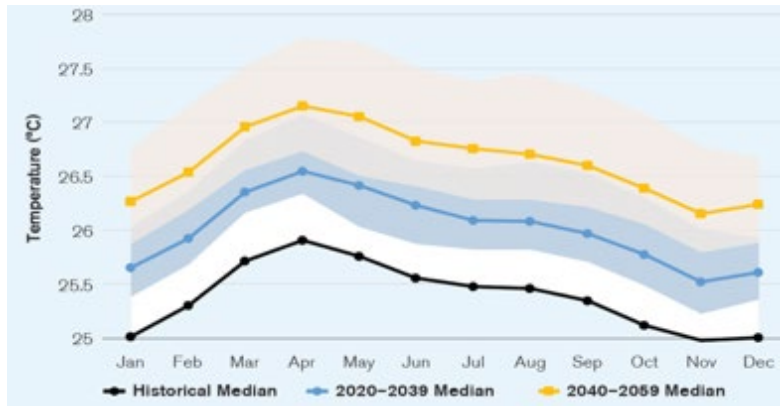


Figura 11. Climatología proyectada de la temperatura media en todo el país para 2020 - 2039 y 2040 - 2059 (período de referencia 1995 - 2014) bajo escenario SSP3-7.0. Fuente: World Bank Group, 2024.

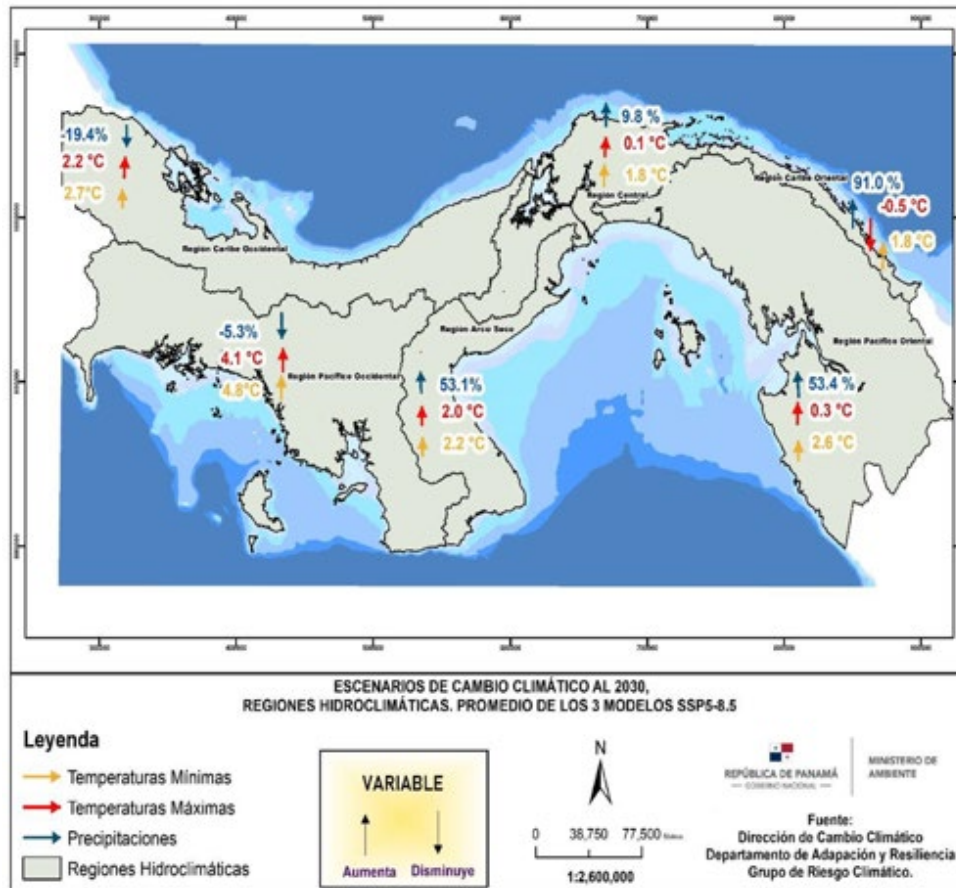


Figura 12. Escenario de Cambio Climático al 2030. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2023.

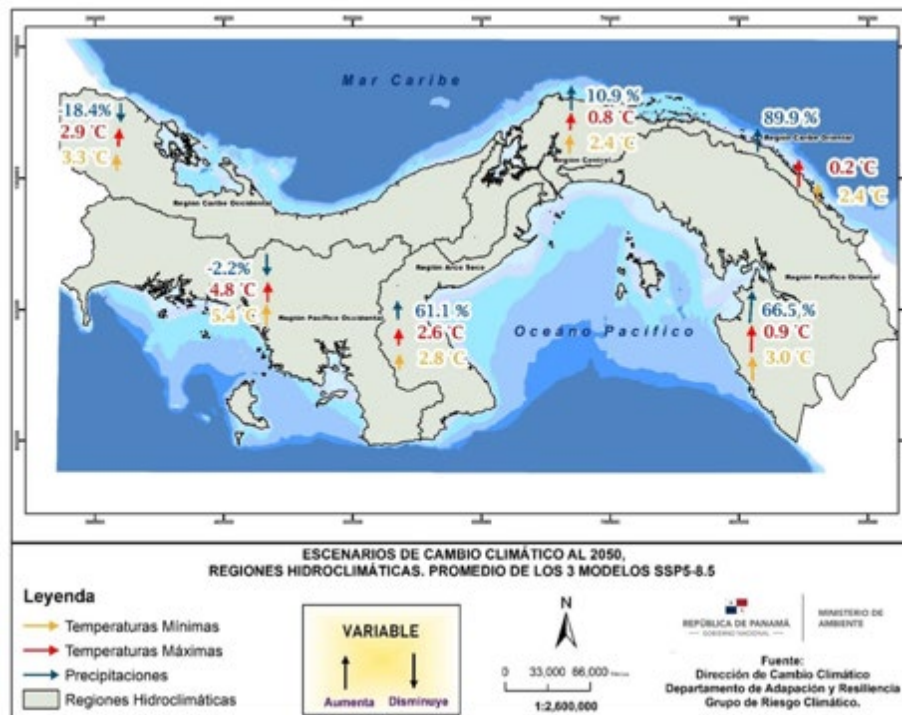


Figura 13. Escenario de Cambio Climático al 2050. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2023.

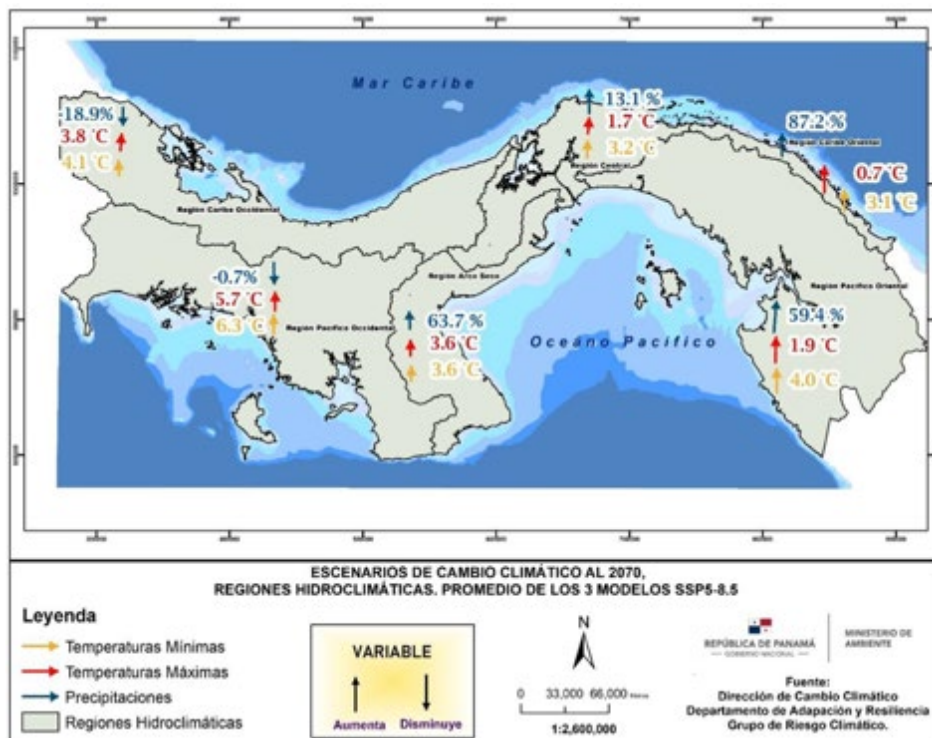


Figura 14. Escenario de Cambio Climático al 2070. Regiones Hidroclimáticas para el escenario SSP5-8.5. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2023.

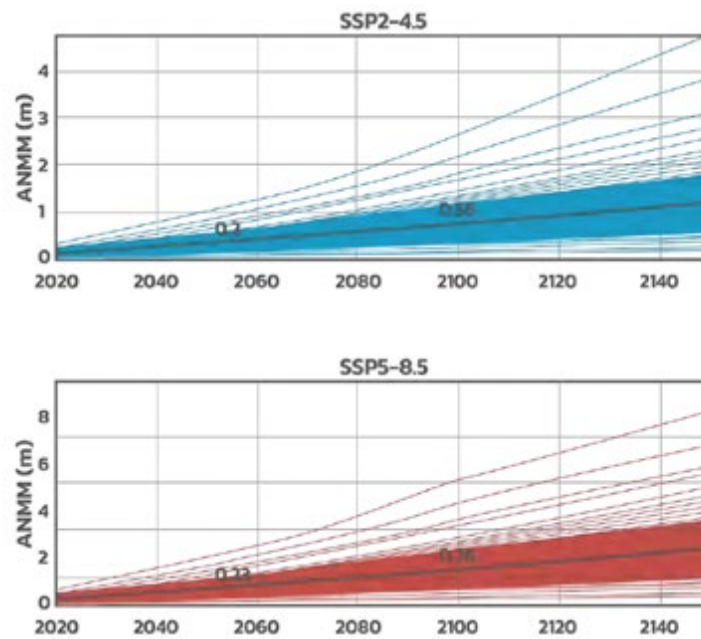


Figura 15. Serie de Aumento del Nivel Medio del Mar (ANMM) en la ubicación 7°N y -80°W frente a la costa Pacífica de Panamá. Fuente: Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, 2022.

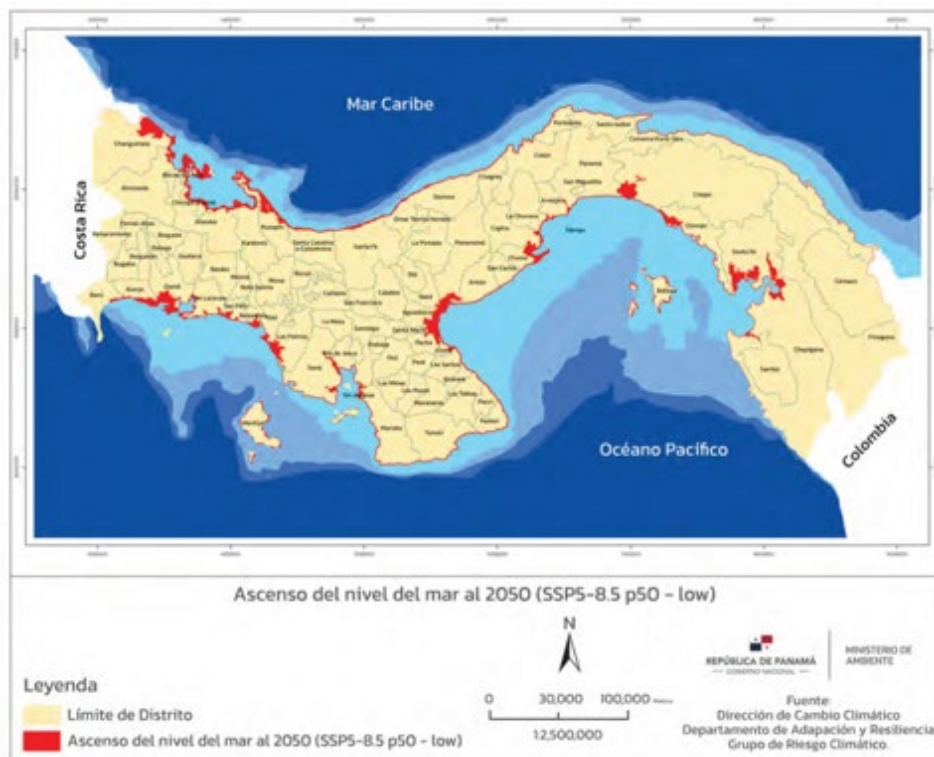


Figura 16. Áreas impactadas por ascenso del nivel del mar al 2050 para República de Panamá. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2022.

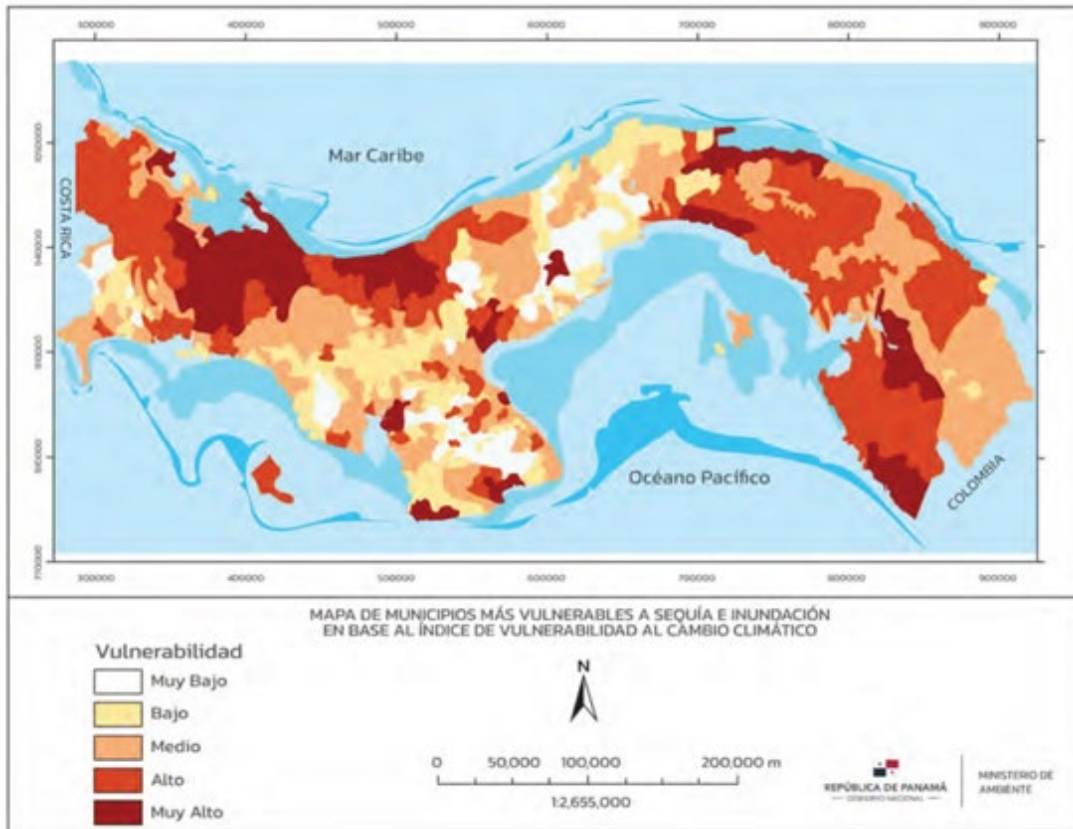


Figura 17. Mapa de Vulnerabilidad al Cambio Climático de la República de Panamá. Fuente: Ministerio de Ambiente, 2021.

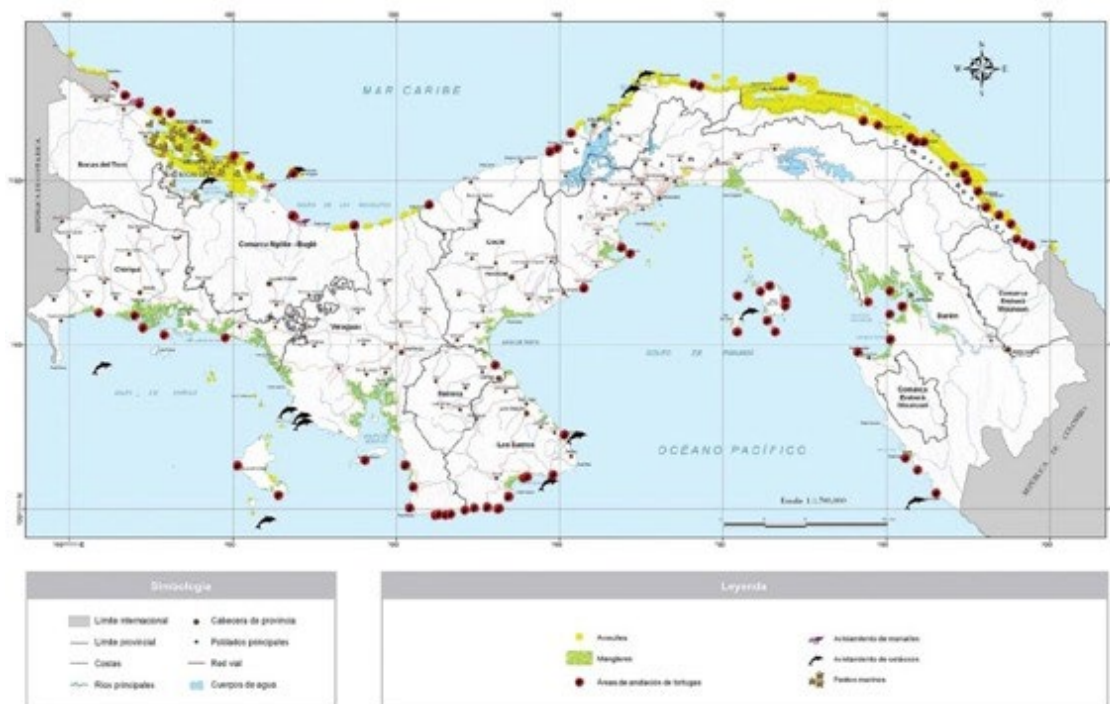


Figura 18. Mapa de especies y ecosistemas de importancia marina. Fuente: SINIA, 2010¹.

Anexo II. Resumen de las entrevistas

Durante las entrevistas se han formulado las siguientes preguntas:

- Desde su experiencia, ¿cómo que el cambio climático está agravando problemas compartidos como el declive de la calidad del agua y la biodiversidad en la costa pacífica de Panamá? ¿Qué evidencia existe de impactos relacionados con fenómenos como El Niño o la erosión costera?
- ¿Qué brechas de conocimiento, recursos o capacidades institucionales ha identificado en Panamá que limitan la respuesta al cambio climático en problemas transfronterizos? ¿Cómo podrían fortalecerse estas áreas para gestionar mejor los impactos en la costa pacífica?
- ¿Qué papel juegan las comunidades locales y los saberes tradicionales en la mitigación y adaptación al cambio climático en las costas del Pacífico? ¿Qué iniciativas podrían fortalecer su participación?
- ¿Cuáles son los principales efectos del cambio climático (como cambios en las corrientes, aumento del nivel del mar y temperaturas más altas) que exacerbaban la contaminación por vertidos y residuos sólidos en la costa pacífica de Panamá y países vecinos, desde una perspectiva oceanográfica? ¿Qué áreas específicas de esta región son más vulnerables?
- ¿Qué evidencia existe de que el cambio climático esté favoreciendo la expansión de especies invasoras en la costa pacífica de Panamá? ¿Qué ecosistemas o especies nativas han sido más afectados?
- ¿Qué impactos específicos de las especies invasoras exacerbados por el cambio climático ha observado en la biodiversidad, los manglares o los recursos pesqueros del Pacífico?

¹ <https://sinia.gob.pa/atlas-ambiental-de-la-republica-panama/>

panameño? ¿Cómo afectan estos cambios los servicios ecosistémicos que sustentan a las comunidades costeras?

- ¿Qué enfoques de manejo adaptativo o restauración de ecosistemas considera efectivos para prevenir o mitigar los impactos de las especies invasoras en esta región? ¿Cómo podrían estas acciones integrarse en un marco de cooperación transfronteriza?
 - ¿Cómo considera que el cambio climático está exacerbando problemas transfronterizos como el declive de los recursos pesqueros, la contaminación por vertidos y residuos sólidos, y la proliferación de especies invasoras en la costa pacífica de Panamá?
 - En cuanto a problemas compartidos como el declive de la biodiversidad y la calidad del agua, ¿cuáles son las principales acciones o políticas de adaptación que se están implementando para mitigar estos impactos en las comunidades costeras?
 - ¿Cuáles son los principales vacíos o barreras institucionales que dificultan una gestión climática eficaz para abordar problemas transfronterizos y compartidos, y qué soluciones podrían plantearse?
 - Desde el enfoque del Plan Nacional de Adaptación, ¿cómo se puede fortalecer la cooperación transfronteriza para mitigar los impactos del cambio climático en problemas como la pesca, la contaminación y la pérdida de biodiversidad? ¿Existen iniciativas regionales actuales que puedan ser escaladas o replicadas?
 - En el contexto de la costa pacífica de Panamá, ¿cómo considera que el cambio climático está exacerbando la pérdida de biodiversidad marina, particularmente en áreas protegidas? ¿Qué especies clave están en mayor riesgo y cuáles son las consecuencias para las comunidades que dependen de estos ecosistemas?
 - ¿Qué impactos específicos del cambio climático, como el aumento de temperatura del agua o la acidificación, ha observado en las especies marinas como las tortugas carey o los arrecifes de coral? ¿Cómo afecta esto la sostenibilidad de los recursos pesqueros locales?
 - ¿Qué estrategias basadas en ecosistemas podrían implementarse para fortalecer la resiliencia de los hábitats marinos y costeros del Pacífico frente a los impactos del cambio climático? ¿Cómo pueden estas estrategias integrarse en un enfoque transfronterizo?
- **Afectación por el aumento del nivel del mar y restauración costera:** El aumento del nivel del mar tendrá un impacto significativo en las comunidades costeras del Pacífico. Una estrategia propuesta incluye realizar proyectos de restauración no solo en la línea costera actual, sino también en las zonas de transición hacia tierra firme. Esto permitiría compensar la pérdida de manglares y seguir fomentando actividades sostenibles como criaderos de cangrejos y otras especies, generando ingresos para las comunidades locales. Además, se subrayó la importancia de involucrar a estas comunidades en la gestión de sus propios desechos, tanto los que generan directamente como los que llegan a través de los ríos.
 - **Principales efectos observados en la costa Pacífica:**
 - Mar de leva y mar de fondo: Fenómenos que afectan gravemente a las comunidades costeras en Panamá y Centroamérica. Estos eventos, combinados con vientos fuertes y mareas extremas, generan inundaciones en comunidades y zonas turísticas. La situación se ve agravada por las construcciones en dunas de arena que alteran la dinámica natural

- de las costas y la extracción histórica de arena submarina y tala indiscriminada de manglares.
- Erosión costera: Estudios recientes en el Pacífico y el Caribe de Panamá, realizados con la colaboración de ONG y el gobierno coreano, han documentado el impacto de la erosión en las playas.
 - Cambios en los vientos alisios: Estos vientos están alterando la dinámica oceánica, provocando surgencias de aguas frías en zonas del Pacífico panameño, lo que afecta las pesquerías y el ecosistema marino.
- **Impactos del cambio climático en problemas transfronterizos en la costa pacífica de Panamá:** El cambio climático está exacerbando una serie de problemas transfronterizos que afectan tanto los recursos naturales como la calidad de vida de las comunidades costeras:
 - Declive de los recursos pesqueros: Los cambios en la temperatura del agua y la variabilidad climática afectan los patrones migratorios de las especies marinas, reduciendo la disponibilidad de peces en áreas tradicionales de pesca. Esto lleva a que los pescadores tengan que ir cada vez más lejos de la costa, aumentando los costos de la actividad y reduciendo el beneficio. Por otro lado, la contaminación marina por residuos sólidos y vertidos limita los hábitats disponibles y contribuye al deterioro de ecosistemas clave como manglares y arrecifes.
 - Contaminación por vertidos y residuos sólidos: Precipitaciones intensas y concentradas, resultado del cambio climático, arrastran mayores cargas contaminantes hacia las zonas costeras. Durante la estación seca, la menor dilución en cuerpos de agua aumenta la concentración de contaminantes, intensificando los impactos en los ecosistemas marinos y la salud pública. La gestión inadecuada de los residuos sólidos tiene un efecto acumulativo sobre los recursos hídricos, exacerbando la contaminación y reduciendo la calidad del agua.
 - Proliferación de especies invasoras: Cambios en las dinámicas oceánicas y la mayor conectividad entre ecosistemas facilitan la expansión de especies invasoras. Estas especies afectan tanto la biodiversidad local como las actividades económicas como la pesca y el turismo.
 - **Problemas ambientales y cómo el cambio climático los agrava:** Se han identificado problemas recurrentes como el declive de la calidad del agua, la pérdida de biodiversidad y la contaminación por plásticos y desechos líquidos. A esto se suman nuevos desafíos relacionados con el cambio climático:
 - Erosión costera y pérdida de territorio: El incremento del nivel del mar también provoca intrusión salina, afectando pozos de agua utilizados por comunidades que carecen de acueductos.
 - Contaminación agrícola: Los agroquímicos y pesticidas usados en la agricultura cercana contaminan las fuentes de agua y afectan la salud humana, siendo una de las principales causas de cáncer en el país. Se promueve la adopción de abonos e insecticidas orgánicos como una solución sostenible.
 - **Expansión de especies en la costa Pacífica debido al cambio climático:** El cambio climático ha modificado significativamente las dinámicas ambientales de las costas panameñas, favoreciendo la expansión de especies invasoras y tropicales. Entre los factores principales destacan:

- Aumento de la temperatura del mar: Este incremento ha expandido las áreas habitables para especies tropicales que antes estaban restringidas.
- Aumento del nivel del mar: Tiene un efecto dual por la inundación de costas que abre nuevos hábitats para especies invasoras lo que puedes alterar los ecosistemas costeros existentes, además de la erosión costera que reduce la habitabilidad en zonas costeras, afectando tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas locales.
- Dinámica del Canal de Panamá: Aunque su naturaleza de agua dulce actúa como una barrera parcial, las nuevas esclusas han aumentado la salinidad en áreas específicas, facilitando la migración de especies marinas entre océanos. Por otro lado, se ha incrementado la conectividad ecológica entre el Caribe y el Pacífico, con estudios que revelan un flujo migratorio predominante del Caribe al Pacífico (60%).
- **Principales mecanismos de introducción de especies invasoras:** El tráfico marítimo, central para la economía de Panamá, aumenta las probabilidades de entrada de especies invasoras. Los mecanismos más destacados incluyen:
 - Agua de lastre: Utilizada para estabilizar embarcaciones, es un medio principal para transportar especies. La tolerancia de ciertos organismos al agua dulce durante las 8-9 horas de tránsito por el canal amplifica este riesgo.
 - Cascos de embarcaciones: Los organismos que se adhieren a los cascos tienen altas probabilidades de trasladarse entre regiones. Las regulaciones actuales en Panamá sobre la limpieza de cascos son limitadas, a diferencia de países como Estados Unidos, donde estas políticas están más desarrolladas.
 - Redes fantasma: pueden suponer un vector para especies invasoras, al llevar adheridas estas especies.
- **Impactos del cambio climático en la biodiversidad marina**
 - El cambio climático aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas marino-costeros al elevar el nivel del mar, alterar patrones de temperatura y modificar las precipitaciones.
 - Principales efectos identificados: En los corales el aumento de la temperatura provoca blanqueamiento, alterando las cadenas alimenticias marinas y la biodiversidad. El aumento en las concentraciones del CO₂ en el océano impulsa su acidificación y afecta el desarrollo de especies calcáreas, y de manera consecuente, de especies que dependen de ellos como moluscos y fitoplancton. Además, las lluvias intensas incrementan la sedimentación y turbidez de los cuerpos de agua, afectando la distribución de nutrientes en los ecosistemas acuáticos y las especies asociadas a estos.
 - Actualmente no hay monitoreo sistemático de todas las especies afectadas, pero las tortugas marinas, como la tortuga carey, actúan como bioindicadores clave. En ellos se podrían estudiar los siguientes efectos: El aumento de la temperatura en playas altera el balance de sexos (a mayor temperatura, nacen más hembras), afectando los ciclos reproductivos. Por otro lado, se ha observado en AMP como Coiba que el fenómeno de El Niño ha causado blanqueamiento de corales, aunque no se dispone de un monitoreo formal.
 - Especies en mayor riesgo:
 - Arrecifes de coral: Esenciales para la biodiversidad marina, especialmente en el área de Coiba, que alberga los arrecifes más ricos de la región.
 - Tortugas marinas: Específicamente la tortuga carey, cuya reproducción y distribución están directamente influenciadas por los cambios climáticos.

- Consecuencias para las comunidades:
 - Reducción de recursos pesqueros y turísticos.
 - Mayor vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos debido a la degradación de barreras naturales como los manglares y arrecifes.
- **Impacto de la actividad humana en las costas:**
 - Alteración de dunas y pérdida de barreras naturales: En el pasado, las dunas actuaban como protección frente a marejadas. Actualmente, su desaparición aumenta la vulnerabilidad de las comunidades.
 - Consecuencias de prácticas no sostenibles: La extracción de arena y la tala de manglares han reducido significativamente la capacidad de las costas para resistir fenómenos naturales como tsunamis, marejadas y mar de fondo.
- **Escenarios climáticos y su impacto en la salud:** En los mapas de escenarios climáticos para 2050, 2070 y 2100, se observa un aumento de la temperatura mínima nocturna, que está relacionado con la proliferación de patógenos y un incremento en el uso de pesticidas. Esto agrava problemas de salud, como el cáncer, y genera un ciclo de dependencia de productos químicos. También se señaló cómo el aumento de temperaturas diurnas y nocturnas intensifica los riesgos de enfermedades transmitidas por vectores (dengue, zika) y picaduras de especies venenosas como escorpiones y serpientes, en áreas donde muchas veces no hay acceso rápido a tratamientos médicos.
- **Retos en la recopilación de datos oceanográficos:**
 - Falta de infraestructura científica: En el Pacífico panameño no existen suficientes instrumentos como mareógrafos o sismógrafos para monitorear adecuadamente el aumento del nivel del mar, las corrientes y las temperaturas.
 - Necesidad de una base de datos compartida: Actualmente, instituciones como el Canal de Panamá y programas como SENACYT han instalado boyas oceanográficas en puntos estratégicos (por ejemplo, en la Isla Coiba). Sin embargo, los datos aún no están integrados en una base común y accesible.
 - Fortalecimiento de capacidades regionales: A nivel centroamericano, Panamá tiene un atraso en comparación con países como México y Costa Rica en términos de programas oceanográficos. Existe un compromiso pendiente para desarrollar un programa integral y colaborativo en la región.
- **Estudios y datos relevantes:** Panamá está avanzando en el conocimiento sobre especies invasoras gracias a investigaciones lideradas por instituciones como el Smithsonian. Sin embargo, aún existen importantes vacíos:
 - Documentación y base de datos: Panamá cuenta con una base de datos nacional de especies invasoras. Sin embargo, los estudios sobre los impactos ecológicos y económicos de estas especies en recursos marinos y ecosistemas son incipientes.
 - Técnicas moleculares: Se están implementando análisis genéticos para evaluar los riesgos asociados con organismos invasores, como la introducción de virus y patógenos.
 - Distribución de especies: En los muelles y puertos, hasta el 40% de los organismos presentes son invasores. Esto resalta la necesidad de un monitoreo constante en las instalaciones portuarias.

- **Propuestas para abordar los vacíos y retos:**
 - Programas de monitoreo oceanográfico: Se propone instaurar un programa nacional de monitoreo continuo de corrientes, temperaturas y otros parámetros clave, con una base de datos integrada que permita análisis y toma de decisiones informadas.
 - Planificación espacial marina: Es fundamental incluir medidas para proteger áreas marinas y coordinar actividades como el turismo, la pesca y la conservación de ecosistemas.
 - Cooperación regional: Es necesario fortalecer la colaboración con otros países centroamericanos en proyectos relacionados con áreas marinas protegidas, gestión de basura marina y planificación espacial marina.

- **Capacidades para la adaptación y mitigación:** Es crucial fortalecer las capacidades tanto institucionales como comunitarias en diversos aspectos:
 - Formación y liderazgo: A través de talleres y programas como la Academia de Cambio Climático, se ha trabajado en la formación de líderes comunitarios y en la sensibilización sobre cambio climático. Se destacan los esfuerzos por garantizar la inclusión de todas las regiones del país y la igualdad de género.
 - Organización y financiamiento: Se propone transformar las organizaciones comunitarias en cooperativas o microempresas y capacitarlas en financiamiento y planificación empresarial, para que puedan negociar con empresas concesionarias y participar activamente en la toma de decisiones.
 - Soluciones basadas en la naturaleza: Se están desarrollando manuales con alternativas para proteger las áreas costeras y fomentar acciones de adaptación y mitigación que aprovechen los recursos naturales de manera sostenible.

- **Resiliencia y características particulares de las aguas panameñas:** Las aguas panameñas tienen propiedades únicas que influyen en la resiliencia de sus ecosistemas frente al cambio climático y las especies invasoras:
 - Acidificación: Debido a fenómenos de afloramiento, las aguas presentan niveles de pH más bajos, lo que ha conferido mayor tolerancia a ciertos organismos como corales y moluscos calcáreos. Estas características podrían posicionar a Panamá como un refugio climático para especies en peligro en otras regiones.
 - Ecosistemas clave para la pesca y la biodiversidad: Manglares, estuarios y arrecifes de coral son fundamentales para las pesquerías locales y regionales. La preservación de estos ecosistemas es esencial para mantener la seguridad alimentaria y la biodiversidad.

- **Enfoques de manejo adaptativo y restauración:** Para enfrentar los impactos de las especies invasoras y los efectos del cambio climático, se proponen las siguientes estrategias:
 - Programas de monitoreo regulares: Inspecciones frecuentes en cascos de embarcaciones y análisis de agua de lastre y desarrollo de sistemas de control en instalaciones portuarias para identificar y mitigar riesgos asociados con especies invasoras.
 - Regulaciones estrictas: Establecimiento de políticas más rigurosas para la limpieza de cascos antes de entrar en aguas territoriales y aumento de la vigilancia y el cumplimiento normativo en las aguas interiores y territoriales de Panamá.

- Restauración de ecosistemas: Rehabilitación de manglares y arrecifes para fortalecer la capacidad de resistencia de los ecosistemas locales y la creación de áreas marinas protegidas para prevenir invasiones y promover la biodiversidad.
 - Cooperación transfronteriza: Establecimiento de un marco regional para compartir datos, recursos y estrategias de manejo y la coordinación con países vecinos para fortalecer las capacidades de monitoreo y prevención.
- **Estrategias de mitigación y políticas en desarrollo para enfrentar estos impactos:** Panamá está avanzando en la implementación de políticas y acciones que aborden tanto los efectos directos del cambio climático como los problemas relacionados que intensifican la vulnerabilidad de los ecosistemas y las comunidades:
 - Plan Nacional de Adaptación (2023-2026): Este plan busca empoderar a los sectores clave del país mediante un enfoque de sectorización de la adaptación.
 - Se prioriza la identificación de problemas no asociados directamente con el cambio climático pero que incrementan la vulnerabilidad, tales como la mala gestión de desechos sólidos y la degradación de ecosistemas. Considera soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como eje principal para enfrentar impactos climáticos, restaurar ecosistemas, y proteger comunidades costeras.
 - Manejo de la contaminación y saneamiento costero: El país ha avanzado en el saneamiento de la Bahía de Panamá, pero el esfuerzo debe extenderse para abordar la contaminación derivada de residuos sólidos y vertidos arrastrados por lluvias intensas. Es necesario mejorar la gestión de desechos sólidos, tanto en zonas urbanas como rurales, para reducir la carga contaminante que llega a las costas.
 - Conservación de la biodiversidad y los recursos pesqueros: Se están desarrollando estrategias para preservar los ecosistemas costeros clave, como manglares y arrecifes de coral, que son fundamentales para la pesca y la biodiversidad. Es vital fortalecer las políticas de pesca sostenible y establecer mecanismos de cooperación regional para gestionar los recursos compartidos.
 - **Cambios en el clima y conciencia nacional:** Panamá enfrenta cambios evidentes en su clima. En los años 70, la estación seca duraba dos meses, pero actualmente se extiende hasta cinco meses. Esto ha generado mayor conciencia pública sobre el cambio climático, como refleja una encuesta nacional realizada en 2023. Los resultados muestran que los proyectos de adaptación y mitigación son bien recibidos, lo que refuerza la necesidad de seguir promoviendo acciones concretas y estrategias informadas.
 - **Perspectiva transfronteriza y cooperación regional:** Dado el carácter transfronterizo de los problemas ambientales en la región, Panamá debe trabajar en colaboración con los países vecinos para implementar soluciones efectivas.
 - Establecer marcos de cooperación que permitan compartir datos, tecnologías y recursos.
 - Implementar programas conjuntos para la restauración de ecosistemas y el monitoreo de la biodiversidad y calidad del agua.
 - Crear alianzas estratégicas para enfrentar desafíos comunes, como la proliferación de especies invasoras y el manejo de la contaminación marítima.
 - Fomentar la cooperación regional para la restauración de ecosistemas marino-costeros y el intercambio de información.

- Promover programas de educación y sensibilización en comunidades locales para destacar la importancia de los servicios ecosistémicos y su valor económico.
- Desarrollar estudios de valoración económica para fortalecer la gestión sostenible de los ecosistemas.
- **Enfoques basados en la naturaleza (SbN) como solución clave:** Las SbN están siendo consideradas como una herramienta integral para abordar tanto los efectos directos del cambio climático como los problemas relacionados.
 - Restauración de manglares: Existen manuales específicos para la restauración de manglares con enfoque en la reducción de impactos del cambio climático.
 - Protección de áreas críticas: Conservación de sitios RAMSAR como Montijo y Coiba, actualmente bajo presión por actividades humanas como ganadería y agricultura. Señala la importancia de aplicar de manera estricta las leyes ambientales que prohíben alterar humedales y manglares, salvo para actividades turísticas sostenibles.
 - Monitoreo continuo: Fortalecimiento de programas de vigilancia y monitoreo de ecosistemas y especies clave para evaluar impactos y adaptar estrategias.