

DOCUMENTOS DE PROYECTOS

El impacto económico del cambio climático en Centroamérica, Panamá y la República Dominicana

Grupo ad hoc de análisis de riesgos
macroeconómicos provenientes del
cambio climático y los desastres naturales



NACIONES UNIDAS

C E P A L



CONSEJO MONETARIO
CENTROAMERICANO
Secretaría Ejecutiva

Global
Gateway



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



C E P A L

Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme

Conozca nuestras redes sociales y otras fuentes de difusión en el siguiente link:



<https://bit.ly/m/CEPAL>



El impacto económico del cambio climático en Centroamérica, Panamá y la República Dominicana

Grupo ad hoc de análisis de riesgos macroeconómicos
provenientes del cambio climático y los desastres naturales



NACIONES UNIDAS
C E P A L



CONSEJO MONETARIO
CENTROAMERICANO
Secretaría Ejecutiva



Global
Gateway



Este documento fue elaborado por el Grupo ad hoc de análisis de riesgos macroeconómicos provenientes del cambio climático y los desastres naturales, integrado por funcionarios de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), de la Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano (SECMCA), delegados de los bancos centrales de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, la República Dominicana, y de la Superintendencia de Bancos de Panamá.

El documento fue coordinado por José Eduardo Alatorre, Lucía Rezza Rocha y Santiago Lorenzo, de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, y Odalis F. Marte, Secretario Ejecutivo, y Penélope Caraballo Gómez, Economista, de la SECMCA.

Los autores agradecen los aportes realizados por los funcionarios de los bancos centrales de los siguientes países: Costa Rica: Irene Alvarado Quesada, Enrique Jiménez y Bridget Soto Méndez; El Salvador: Marisela Rivas y Pablo Ámaya; Guatemala: Carlos R. Figueroa y Grimber Argueta; Honduras: Fred Saunders y Luis Velásquez; Nicaragua: Luis Agustín Cerdá y Juan Uriel Zeledón Centeno; República Dominicana: Cesia de Oleo y Nabil López. Asimismo, se reconocen los aportes de Patricio Mosquera, funcionario de la Superintendencia de Bancos de Panamá. Se agradecen los comentarios de Ignacio Fernández Sepúlveda, Consultor de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL.

Esta publicación se elaboró en el marco de las actividades del Programa EUROCLIMA, que ejecuta la CEPAL con financiamiento de la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea ni de la SECMCA.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos a sitios web externos incluidos en esta publicación.

No deberá entenderse que existe adhesión de las Naciones Unidas o los países que representan a empresas, productos o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las Naciones Unidas o las de los países que representan.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas incluidos no implican el apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2025/80
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2025
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.2500373[S]

Esta publicación debe citarse como: Grupo ad hoc de análisis de riesgos macroeconómicos provenientes del cambio climático y los desastres naturales. (2025). *El impacto económico del cambio climático en Centroamérica, Panamá y la República Dominicana. Documentos de Proyectos* (LC/TS.2025/80). Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Revisión de literatura sobre los impactos económicos del cambio climático	11
II. Metodología	15
III. Aproximación empírica	17
A. Patrones de temperatura y precipitación.....	17
B. Crecimiento económico	25
C. Estimación	26
IV. Impacto económico proyectado del cambio climático	33
A. Metodología para el cálculo del impacto económico proyectado del cambio climático	33
B. Construcción de escenarios	34
C. Resultados a nivel nacional a 2050	35
1. Costa Rica.....	35
2. El Salvador.....	37
3. Guatemala.....	38
4. Honduras.....	39
5. Nicaragua	41
6. Panamá	42
7. República Dominicana	44
V. Limitaciones del análisis.....	47
VI. Conclusiones	49
Bibliografía	51
Anexo A1.....	55

Cuadros

Cuadro 1	Pérdida en la tasa de crecimiento anual ante un incremento de 1 °C en la temperatura promedio anual.....	12
Cuadro 2	Pérdida proyectada del PIB per cápita bajo un escenario de altas emisiones (RCP 8.5)	13
Cuadro 3	Climatologías: temperatura promedio para períodos de 30 años.....	19
Cuadro 4	Climatologías: precipitación promedio para períodos de 30 años	19
Cuadro 5	Coeficiente γ_{2i} para distintos períodos y prueba de estabilidad de Chow con el punto de quiebre en 1990	23
Cuadro 6	Tipos de especificación de función de daño.....	27
Cuadro 7	Efectos de las variaciones en la temperatura promedio global y las precipitaciones sobre el crecimiento económico de la región de América Latina y el Caribe	27
Cuadro 8	Efectos de las variaciones en la temperatura global promedio y las precipitaciones sobre el crecimiento económico de la región de América Latina y el Caribe: resultados ponderados por población	28
Cuadro 9	Resultados: temperatura óptima	29
Cuadro 10	Resultados: regresiones con promedios por década	30
Cuadro 11	Cálculo del impacto marginal acumulativo por número de rezagos	31
Cuadro 12	Efectos marginales de la temperatura en el crecimiento del PIB per cápita a distintos niveles de temperatura	31
Cuadro 13	Escenarios utilizados en la compilación CMIP6-xo.25	34
Cuadro 14	Resumen de resultados a nivel país bajo diversos horizontes temporales.....	50
Cuadro A1.1	Serie y fuente de datos	56
Cuadro A1.2	Valores de temperatura bajo escenarios de proyecciones climáticas.....	56
Cuadro A1.3	Valores de impactos económicos bajo escenarios de proyecciones climáticas.....	57

Gráficos

Gráfico 1	Efectos de crecimiento vs efectos de nivel asociados a las desviaciones climáticas	16
Gráfico 2	Temperatura promedio anual histórica (1901-2022)	18
Gráfico 3	Precipitación promedio anual histórica (1901-2022)	18
Gráfico 4	Distribución de las temperaturas y precipitaciones: 1930-1960, 1961-1990 y 1991-2020	20
Gráfico 5	Aumento anual promedio de la temperatura por país, 1901-2022	22
Gráfico 6	Temperatura y precipitación anual ponderada por población y sin ponderar, 1901-2022	23
Gráfico 7	PIB per cápita, 1950-2019.....	25
Gráfico 8	Crecimiento, PIB per cápita, 1960-2022	26
Gráfico 9	Impacto del aumento de la temperatura sobre el crecimiento económico, sin rezagos y con uno, tres y cinco rezagos entre 10 °C y 40 °C.....	32
Gráfico 10	Costa Rica: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	36
Gráfico 11	El Salvador: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	37

Gráfico 12	Guatemala: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	38
Gráfico 13	Honduras: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	40
Gráfico 14	Nicaragua: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	41
Gráfico 15	Panamá: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	42
Gráfico 16	República Dominicana: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)	44
Mapa		
Mapa 1	Variación en la climatología de 1990-2020 vs 1930-1960	21

Resumen

Este documento analiza el impacto económico histórico y proyectado a 2050 del cambio climático en la subregión de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPARD). A partir de una revisión de literatura, se destaca la alta vulnerabilidad climática de la región, junto con su baja contribución a las emisiones globales.

Utilizando una metodología econométrica basada en panel de datos con efectos fijos, se estima una función de daño que relaciona variaciones de la temperatura y de la precipitación con el crecimiento del PIB per cápita. Los resultados muestran una relación no lineal significativa entre temperatura y crecimiento económico, con un umbral óptimo de temperatura entre 16.5 °C y 21.5 °C, valores que ya han sido superados en la mayoría de los países analizados.

Las proyecciones realizadas en el documento estiman pérdidas del PIB per cápita para todos los países de la región y bajo todos los escenarios climáticos. En un escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), el incremento de temperatura podría alcanzar valores entre 1.4-2.2 °C, generando pérdidas de PIB per cápita estimadas entre 28% y 37%, a materializarse a 2050. En este sentido, Costa Rica podría registrar una reducción del 31% en su PIB per cápita en ausencia de medidas de mitigación, mientras que, para El Salvador, la pérdida proyectada sería del 36%. En Guatemala, la reducción sería del 30%, en Honduras del 33%, en Nicaragua del 37%, en Panamá del 32%, y, en la República Dominicana, se proyectan pérdidas de un 28% del PIB per cápita. Incluso bajo escenarios moderados (SSP2-4.5), las pérdidas continúan siendo relevantes.

En horizontes temporales más cercanos, incrementos de temperatura de entre 0.3-0.8 °C, generarían pérdidas de PIB per cápita estimadas entre 2.7% y 3.8%, a materializarse en 2030.

Estos resultados reflejan que el crecimiento de la economía de los países considerados se reduciría en casi un tercio, producto del cambio climático a mediados de siglo y el cambio climático podría llevar a una reducción del nivel de vida tan severa que, en promedio, las personas en la región tendrían apenas entre el 1.5% y el 5% del ingreso per cápita que habrían alcanzado en ausencia del calentamiento global para fin de siglo.

En este estudio también se encontró que los efectos del cambio climático son persistentes en el tiempo, afectando no solo los niveles de actividad económica sino también la capacidad de crecimiento de largo plazo.

Este análisis contribuye al diseño de estrategias informadas para la reducción de vulnerabilidades, la promoción de políticas de adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia macroeconómica en la región CAPARD.

Introducción

En América Latina y el Caribe existen dos subregiones que se destacan por su gran vulnerabilidad frente al cambio climático y por su reducida participación en la generación de emisiones: Centroamérica y el Caribe. Los efectos son especialmente graves debido a su ubicación geográfica, altamente expuesta a fenómenos hidrometeorológicos extremos y a la alta dependencia de sectores sensibles al clima.

Si bien las políticas climáticas aplicadas a nivel global y el menor crecimiento económico global han logrado una disminución en la tasa de crecimiento de las emisiones, estas aún se mantienen en una senda no compatible con los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París de 2015. De esta manera, cada año se superan los récords de temperatura y las manifestaciones del cambio climático son cada vez más palpables, lo cual tiene y tendrá consecuencias sobre el potencial de crecimiento de las economías.

En este sentido, la estimación de funciones de daños es una herramienta de uso extendido para evaluar cómo los cambios en las condiciones climáticas afectan diversas variables económicas, tales como: el crecimiento económico, la productividad laboral, la producción agrícola, entre otros (Dell, Jones y Olken, 2014; Auffhammer, 2018). Este documento tiene como objetivo desarrollar un primer análisis sobre el impacto de los cambios en la temperatura y la precipitación en el crecimiento económico histórico de la subregión de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPARD), para así contar con un indicador parcial del riesgo climático crónico.

En el marco de actividades del grupo de trabajo ad-hoc de análisis de los riesgos macroeconómicos provenientes del cambio climático y desastres naturales, coordinado en colaboración con la Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano (SECMCA), el informe busca contribuir a la aplicación de metodologías económéticas basadas en la literatura más reciente, empleando datos actualizados sobre variables climáticas y actividad económica. Con ello, se espera obtener una estimación de los impactos del cambio climático en el crecimiento económico de la subregión y, por tanto, ayudar a informar a los formuladores de políticas en su toma de decisiones.

El documento se estructura de la siguiente manera: en la primera sección, se realiza una revisión de literatura sobre los impactos económicos del cambio climático, permitiendo situar el estudio dentro del marco de investigaciones previas. Posteriormente, en la segunda sección, se presentan los aspectos metodológicos sobre los que se fundamenta el estudio. En la tercera sección, se detalla la aproximación empírica y se describe la climatología de la región CAPARD, que proporciona una base para entender

los patrones climáticos actuales. Adicionalmente, en esta sección se muestran las fuentes de los datos utilizadas para el análisis, seguido de las especificaciones del modelo econométrico para la construcción de la función de daño regional. Posteriormente, se exponen los resultados de la función de daño, permitiendo cuantificar las pérdidas económicas derivadas del cambio climático. Además, se evalúan aspectos de largo plazo, temperaturas óptimas y persistencia del impacto en el crecimiento económico para diferentes niveles de temperatura, mediante el cálculo de efectos marginales de la temperatura en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita.

En la cuarta sección, se describe la metodología para el cálculo del impacto económico proyectado, lo que permite estimar los efectos a futuro. Luego, se presenta el análisis de los impactos económicos del cambio climático en la región hacia 2050 y proyecciones a largo plazo. En la quinta sección se discuten las limitaciones del cálculo. Finalmente, en la sexta sección, se presentan las conclusiones y principales hallazgos.

I. Revisión de literatura sobre los impactos económicos del cambio climático

Existen estudios que estiman el impacto de diversas variables climáticas en variables socioeconómicas relevantes (Dell, Jones y Olken, 2014). Por ejemplo, el impacto de la variación de la temperatura media anual en la productividad y oferta laboral del sector agrícola (Dasgupta y otros, 2021), el impacto de la variabilidad diaria de la temperatura en la salud física y mental (Xue y otros, 2019), el impacto de la precipitación total anual en los resultados laborales en áreas metropolitanas (Desbureaux y Rodella, 2019) y el impacto de la precipitación diaria extrema en disruptión y daños económicos por inundaciones (Dave, Subramanian y Bhatia, 2021; Davenport, Burke y Diffenbaugh, 2021). Sin embargo, esta revisión se enfoca en aquellos estudios que vinculan los cambios de temperatura sobre la actividad económica agregada.

Los primeros análisis sobre los impactos del cambio climático en la actividad económica agregada utilizaron datos de corte transversal, que examinan la variación espacial entre las variables en un único punto en el tiempo, permitiendo identificar correlaciones entre la temperatura promedio y el ingreso per cápita. Los resultados de los estudios sugieren una relación negativa significativa entre la temperatura y el PIB, considerando que, un grado adicional en la temperatura se asocia a una disminución de entre el 2% y el 4.3% de la renta personal (Kalkuhl y Wenz, 2020). Sin embargo, este enfoque tiene limitaciones para establecer relaciones causales, ya que los resultados pueden estar influenciados por factores estructurales no observados.

La disponibilidad de datos de panel, al incluir la influencia de factores no observados ya sean temporales o específicos a cada país o unidad de análisis, permite estimar los efectos de la temperatura en el crecimiento económico. La inclusión de efectos fijos temporales y espaciales ayuda a evitar el sesgo por variables omitidas, al controlar por características específicas de cada unidad de estudio como lo pueden ser la geografía, las instituciones y las perturbaciones temporales comunes (Dell, Jones y Olken, 2014).

En general, esta reciente literatura muestra la existencia de una relación entre la temperatura y crecimiento económico, en la cual, al superar un umbral de temperatura, cada aumento de temperatura produce pérdidas en el crecimiento económico (Dell, Jones y Olken, 2014; Burke, Hsiang y Miguel, 2015; Kalkuhl y Wenz, 2020). Se estima que este umbral se encuentra en un rango de temperatura media anual global de entre 10 °C y 13 °C (Burke, Hsiang y Miguel, 2015; Burke y Tanutama, 2019).

Estudios indican que, ante el aumento de la temperatura en 1 °C, los países en desarrollo pueden experimentar pérdidas en el producto interno bruto de entre el 1 y 1.3 puntos porcentuales (Dell, Jones y Olken, 2012), mientras que, en las regiones europeas el impacto es considerablemente inferior, con valores que podrían rondar entre 0.03 y 0.05 puntos porcentuales (García-León, 2015). Si se incluyen efectos no lineales, las regiones con temperaturas medias de 10 °C podrían experimentar pérdidas económicas del 0.8%, alcanzando hasta un 3.5% en regiones con temperaturas promedio de 25°C (Kalkuhl y Wenz, 2020) (véase el cuadro 1).

Cuadro 1
Pérdida en la tasa de crecimiento anual ante un incremento de 1 °C en la temperatura promedio anual
(En puntos porcentuales o porcentajes)^a

Estudio	Resultado	Nº de rezagos	Cobertura geográfica	Especificación del modelo
Dell et al. (2012)	-1,3 p.p.	0 lag	Países en desarrollo	Panel
	-0,98 p.p.	1 lags		
	-1,04 p.p.	5 lags		
Burke et al. (2015)	0,3 p.p. (10 °C) a -1,2 p.p. (25 °C)	0 lags	Global	
	-0,6 p.p. (10 °C) a -0,9 p.p. (25 °C)	5 lags		
García-León (2015)	-0,03 p.p. a -0,06 p.p.	0 lags	Unión Europea	
Burke y Tanutama (2019)	-0,2 p.p. (10 °C) a -1,17 p.p. (25 °C)	0 lags	Global a nivel distrito	
	-0,8 p.p. (10 °C) a -2,9 p.p. (25 °C)	5 lags		
Kalkuhl et al. (2020) ^b	-0,5% (10 °C) a -2,6% (25 °C)	0 lag	Global	
	-0,8% (10 °C) a -3,5% (25 °C)	1 lag		
	-2,4% (10 °C) a -2,6% (25 °C)	5 lag		
Kotz, Levermann y Wenz (2024) ^c	-2,5 p.p.	10 lag	Global	
Waidelech et al. (2024)	-0,82% (-2,27% a 0,62%)	0 lags	Global	
Dell et al (2009)	-1,2 p.p. a -1,9 p.p.	-	América Latina	
García-León (2015)	-1,6 p.p. a -2,2 p.p.	-	Unión Europea	Transversal
Kalkuhl et al. (2020)	-2,0%	-	Global	

Fuente: Elaboración propia en base a (Dell, Jones y Olken, 2009, 2012; Burke, Hsiang y Miguel, 2015; Burke y Tanutama, 2019; Kahn et al., 2019; Kalkuhl y Wenz, 2020; García-León, 2015; Kotz, Levermann y Wenz, 2024).

^a Según corresponda en la interpretación de cada estudio. Signo negativo indica pérdidas, signo positivo ganancias.

^b En este estudio se considera la variación en la tasa de crecimiento per cápita del producto regional bruto (PRB), respecto a lo que hubiese sido sin el incremento en el nivel de temperatura, interpretando los coeficientes como un cambio porcentual en el PRB, no como una variación de la tasa de crecimiento en puntos porcentuales.

^c En este caso se considera el aumento de 1 °C en relación con la norma histórica.

La evidencia empírica sugiere que, en un escenario con altas emisiones, los efectos negativos del cambio climático sobre el PIB per cápita global varían entre 0.8% a 5.1% en 2030, y entre 2.5% y 15.3% en 2050. Los estudios de Burke et al. (2015) y Kahn et al. (2019) cuentan además con datos disponibles para alrededor de 25 países de América Latina y el Caribe de forma que es posible contar con una estimación del impacto ponderado por población para un escenario de altas emisiones¹, y así compararlos con los resultados a nivel global para los años 2030 y 2050 (Burke et al., 2015; Kahn et al., 2019).

De acuerdo con las estimaciones de Burke et al. (2015), los impactos negativos del aumento de temperatura son de mayor magnitud para la región respecto al resto del mundo, de 6.3% en 2030 y 23% en 2050. Esto se debe a que, según la hipótesis del estudio, los países de la región se encuentran cerca o superan el umbral de temperatura óptima por lo cual los aumentos de temperatura tendrían un efecto más nocivo (Burke, Hsiang y Miguel, 2015).

¹ El cual implica que no se cumplen los compromisos nacionales de reducción.

En los resultados obtenidos por Kahn et al. (2019), los impactos regionales son prácticamente iguales a la media global. En el análisis consideran que el impacto de la temperatura sobre el PIB se deriva de las desviaciones persistentes de temperatura con respecto a su promedio histórico (Kahn et al., 2019). Adicionalmente, estimaciones realizadas por CEPAL para los países de la región (Samaniego et al., 2022) ubican los impactos sobre el PIB per cápita en -1.3% para 2030 y de -3.3% para 2050, siendo estos impactos heterogéneos entre países (véase el cuadro 2).

Cuadro 2
Pérdida proyectada del PIB per cápita bajo un escenario de altas emisiones (RCP 8.5)^a

Estudio	Cobertura geográfica	Daños proyectados		
		2030 (+1 °C)	2050 (+2 °C)	2100 (+3 °C)
Burke et al. (2015)	Global	5,1%	15,3%	23%
Burke et al. (2015)	América Latina y el Caribe	6,3%	23%	74%
García-León (2015)	Europa Occidental	0,5% a 1%	1% a 2%	2% a 10%
Kahn et al. (2019)	Global	0,80%	2,51%	7,22%
Kahn et al. (2019)	América Latina y el Caribe	0,50%-3%	1% a 5%	8%
Kalkuhl y Wenz (2020)	Global	-	-	11,2%-14,2%
CEPAL (2022)	América Latina y el Caribe	1,3%	3,3%	8%
Kotz et al. (2024)	Global	2,6%-4,7%	19%	61,6%
Waidelech et al. (2024)	Global	0,1%	3,26% (2 °C)-5,58% (2.5 °C)	10% (3 °C)-15% (4 °C)

Fuente: Elaboración propia en base a (Kotz, Levermann y Wenz, 2024; Kalkuhl y Wenz, 2020; Burke, Hsiang y Miguel, 2015; Kahn, 2019; 2025; Kotz, Levermann y Wenz, 2024; García-León, 2015; Samaniego, Sánchez y Alatorre, 2022).

^a Los resultados se interpretan como porcentaje de pérdida respecto a escenarios considerados "base" (sin cambio climático).

Al considerar los efectos de las precipitaciones en el crecimiento económico, los resultados son menos concluyentes que los efectos de la temperatura, sugiriendo que, en los países en desarrollo las precipitaciones tienden a tener un impacto positivo (no son necesariamente significativas desde el punto de vista estadístico en los países desarrollados) (Kalkuhl y Wenz, 2020). Sin embargo, existe cada vez más evidencia de una relación no lineal entre precipitaciones y actividad económica si se utilizan datos de mayor nivel de desagregación espacio-temporal (CEPAL, 2021).

Otro hallazgo de estos estudios se relaciona con la permanencia del impacto, las estimaciones apuntan que la adaptación a un nuevo régimen climático ha sido limitada y/o inexistente (Kalkuhl y Wenz, 2020; Burke y Tanutama, 2019; Dell, Jones y Olken, 2012), lo cual sugiere que la adaptación puede resultar más complicada de lo que se espera (Burke, Hsiang y Miguel, 2015). Además, existen estudios donde se exhibe que los Pequeños Estados Insulares, Centroamérica y Sudamérica son las regiones que más evidencian las restricciones para la adaptación (Castellanos, 2022).

II. Metodología

En esta sección se presenta la especificación básica estimada, basada en la propuesta de Burke, Hsiang y Miguel (2015), la cual permite aislar el efecto causal de la temperatura sobre el crecimiento económico de otros factores potencialmente correlacionados, aprovechando la estructura de panel con efectos fijos². El modelo estimado es el siguiente:

$$\Delta y_{it} = \mu_i + \theta_{rt} + \alpha_{1i} trend_i + \alpha_{2i} trend_i^2 + \beta_1 T_{it} + \beta_2 T_{it}^2 + \beta_3 P_{it} + \beta_4 P_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Donde, Δy_{it} es la primera diferencia del logaritmo del PIB per cápita. Los subíndices i y t representan el indicador de país y año respectivamente³. T_{it} y P_{it} son los vectores de la temperatura media anual y precipitación total anual respectivamente; se incluyen sus términos al cuadrado para evaluar los posibles efectos no lineales. Para capturar aquellas características invariables en el tiempo que diferencian a un país de otro, como historia económica, cultura, geografía o topografía (como la presencia de recursos naturales o la ubicación climática) se incluyen efectos fijos por país, μ_i . Adicionalmente, se incluyen efectos fijos por año, θ_{rt} , para capturar eventos o condiciones globales que ocurren en un año específico y que afectan a todos los países simultáneamente, como crisis financieras globales, cambios en los precios del petróleo, entre otras.

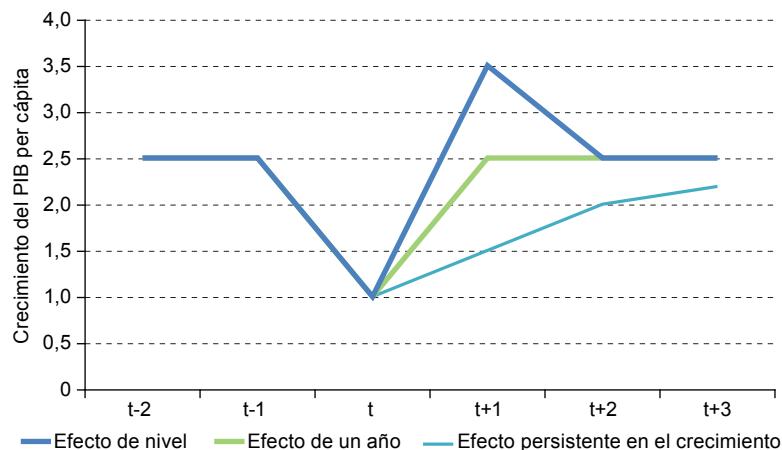
Finalmente, se incluyen tendencias lineales y cuadráticas a nivel país, $trend_i$ y $trend_i^2$ respectivamente, para controlar por tendencias cuadráticas las tasas de crecimiento específicas de cada país, que pueden derivarse, por ejemplo, de cambios en las instituciones políticas o en las políticas económicas (Burke, Hsiang y Miguel, 2015). Los coeficientes β estiman los impactos lineales y cuadráticos de la temperatura y precipitación sobre el crecimiento económico, en caso de existir efectos no lineales, se esperaría que $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 < 0$, lo que implicaría una relación no lineal entre la temperatura y el crecimiento económico, expresado en una función cóncava. Por último, ε_{it} es el término de error.

² Compara un país consigo mismo en los años en los que está expuesto a temperaturas más cálidas que la media debido a variaciones meteorológicas que se producen aleatoriamente. Este enfoque no compara la producción entre distintos países porque es probable que esas comparaciones sean sesgadas y confundan el impacto de la temperatura con otros factores.

³ El logaritmo del PIB per cápita tiene una raíz unitaria, lo que indica que no es estacionario. Trabajar con series no estacionarias puede llevar a resultados espurios en regresiones, ya que los estadísticos tradicionales no son válidos en tales casos. Al tomar la primera diferencia del logaritmo del PIB per cápita, se transforma la variable en una medida del crecimiento per cápita, que es estacionaria, y se facilita una inferencia estadística adecuada.

Un elemento de interés se relaciona con la persistencia del impacto. Si una vez sufrido el impacto, la economía se recupera y regresa a su tendencia de largo plazo o si, por el contrario, retoma una nueva tendencia a un nivel menor⁴. Esto puede probarse al calcular los efectos marginales al incluir diversas estructuras de rezagos en la ecuación (1), con ello se pueden distinguir tres casos: i) si el efecto marginal es significativo para la estructura sin rezagos, y no significativa para la estructura de rezagos, habría evidencia de que el crecimiento económico solo se ve afectado en el momento del impacto y posteriormente retoma su tendencia, de tal forma que las variables meteorológicas sólo tienen un “efecto de nivel” sobre la economía; ii) en el caso de que el efecto marginal sea significativo para las primeras estructuras de rezagos, los resultados indican que las variaciones meteorológicas tienen efectos sobre la capacidad de crecimiento, aunque éstos sean limitados en el tiempo y duren sólo un período determinado (véase la línea verde en el gráfico 1); iii) finalmente, en el caso de que numerosos coeficientes retardados sean estadísticamente significativos y no sumen cero, existe evidencia de efectos persistentes sobre el crecimiento en horizontes temporales más largos (véase la línea calipso en el gráfico 1).

Gráfico 1
Efectos de crecimiento vs efectos de nivel asociados a las desviaciones climáticas



Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Burke y Tanutama, 2019).

Por último, es posible estimar la potencial existencia de procesos de adaptación al cambio climático a través de la estimación de diferencias de largo plazo (Dell, Jones y Olken, 2014). Puede suponerse que el proceso de desarrollo económico ha permitido reducir la vulnerabilidad del proceso productivo ante el clima, estos factores podrían no verse reflejados en la especificación (1), ya que esta fundamentalmente está capturando los efectos de corto plazo. Para analizar estos aspectos, se puede reformular la ecuación (1) utilizando promedios de diez o más años, ecuación (2), de tal manera que permite capturar los efectos de más largo plazo. En este sentido, en el largo plazo, uno esperaría encontrar un proceso de adaptación.

$$\Delta y_{id} = \omega_i + \theta_d + \beta_1 T_{id} + \beta_2 T_{id}^2 + \beta_3 P_{id} + \beta_4 P_{id}^2 + \varepsilon_{id} \quad (2)$$

donde Δy_{id} es la tasa de crecimiento promedio del país i durante una década d . La temperatura y la precipitación media en estos períodos son $T_{i,d}$ y $P_{i,d}$, mientras que, ω_i recoge efectos fijos por país y θ_d efectos fijos por década. ε_{id} es un término de error distribuido independientemente.

⁴ Las pérdidas contemporáneas podrían alterar el ritmo de las estrategias de inversión o de acumulación de capital humano, perjudicando la productividad de los siguientes años. En caso contrario, si el clima sólo afecta el nivel de actividad económica, las pérdidas por una desviación en un año determinado podrían compensarse en los años siguientes, mientras que no se registren eventos posteriormente.

III. Aproximación empírica

En esta sección se presentan las fuentes de datos utilizados para la estimación y se hace un análisis descriptivo de las variables relevantes.

A. Patrones de temperatura y precipitación

Los datos de temperatura y precipitación anuales históricos por país se obtienen de Portal de conocimiento sobre el cambio climático⁵. Los datos observados son los relativos al Climatic Research Unit Gridded Time Series (CRUTS) (Harris y otros, 2020), la cual cuenta con datos mensuales de ambas variables para el período 1901-2022⁶. La temperatura utilizada en este estudio son promedios anuales medidos en grados centígrados, mientras que, las precipitaciones son precipitaciones totales anuales medidas en milímetros (mm).

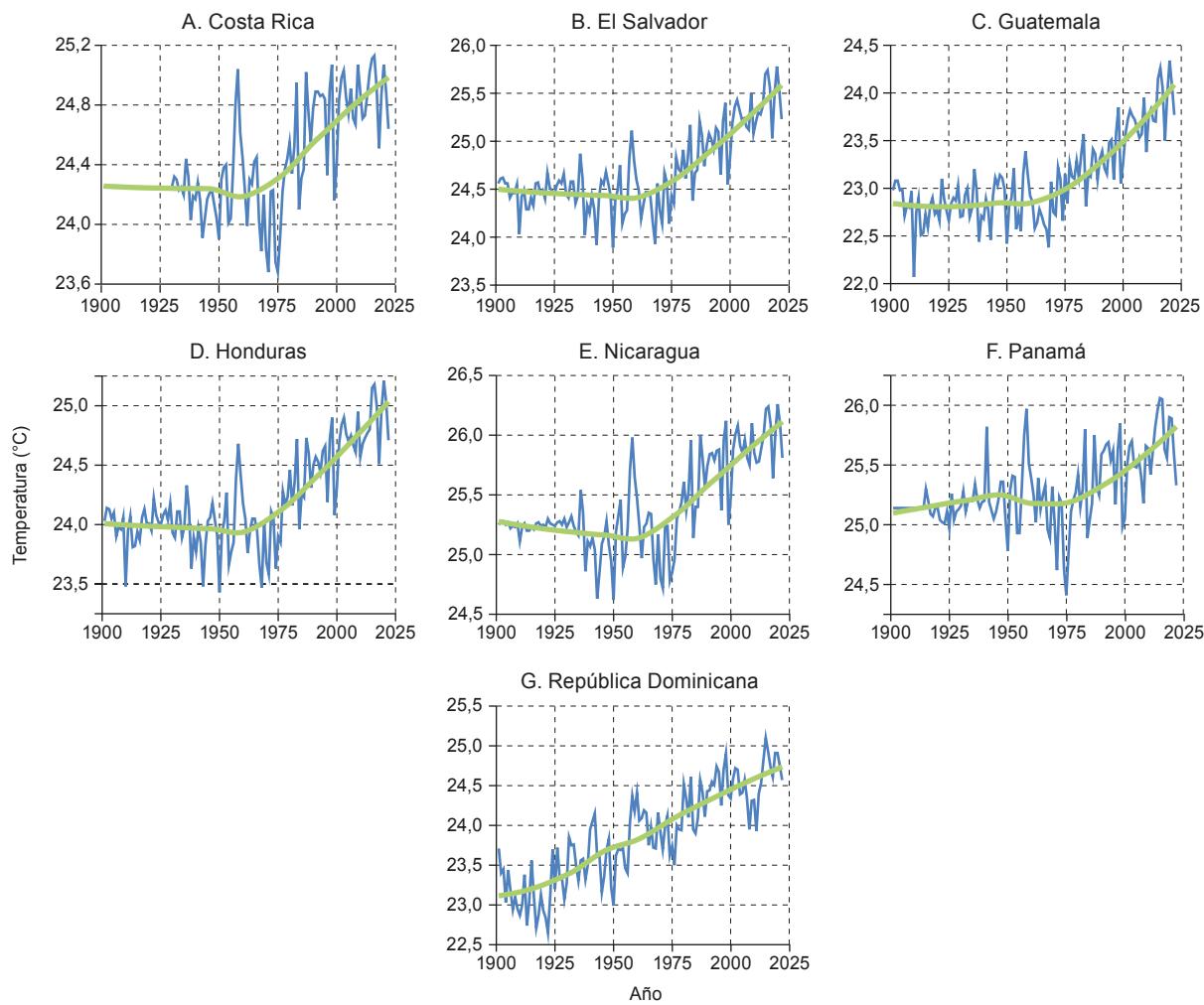
Para iniciar el análisis, es de interés conocer la evolución de la temperatura y las precipitaciones. En el período de 1901-2022, la temperatura en los países CAPARD muestra una tendencia creciente, aunque el inicio de esta tendencia es heterogéneo entre los países. Mientras que, para el caso de República Dominicana, la tendencia se muestra creciente desde inicios del siglo XX, para el resto de los países, la temperatura se había mantenido relativamente constante y la tendencia creciente comienza después de la segunda mitad del siglo XX (véase el gráfico 2).

En el caso de la evolución de la precipitación total anual, se aprecian fluctuaciones notables alrededor de una media que aparece ser constante a lo largo del tiempo (véase el gráfico 3).

⁵ Portal de conocimiento sobre el cambio climático.

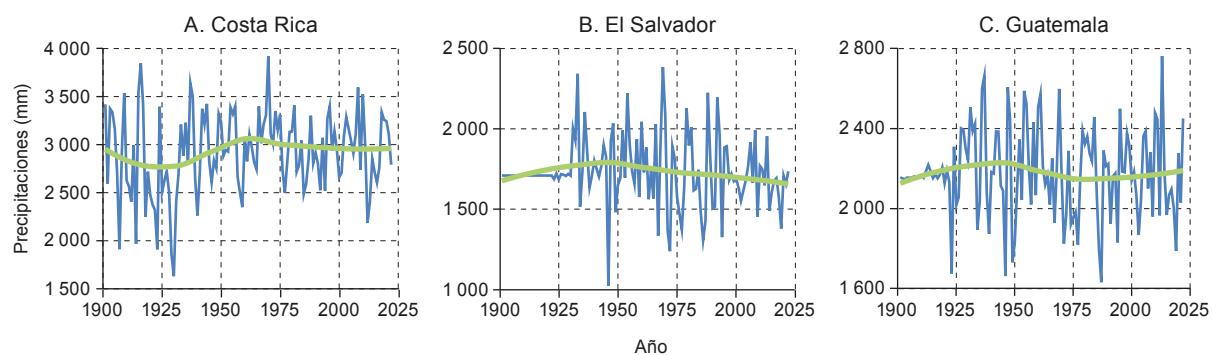
⁶ Los datos del CRU son adecuados para el análisis del clima histórico promedio y de las tendencias derivadas de análisis espacial e interpolación de una extensa red de observaciones de estaciones meteorológicas recogidas en la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia (UEA). Los datos se presentan en una cuadrícula climática de resolución 0,5 grados (aproximadamente 56 km x 56 km en el ecuador), proporcionando estimaciones detalladas tanto de la temperatura como de la precipitación.

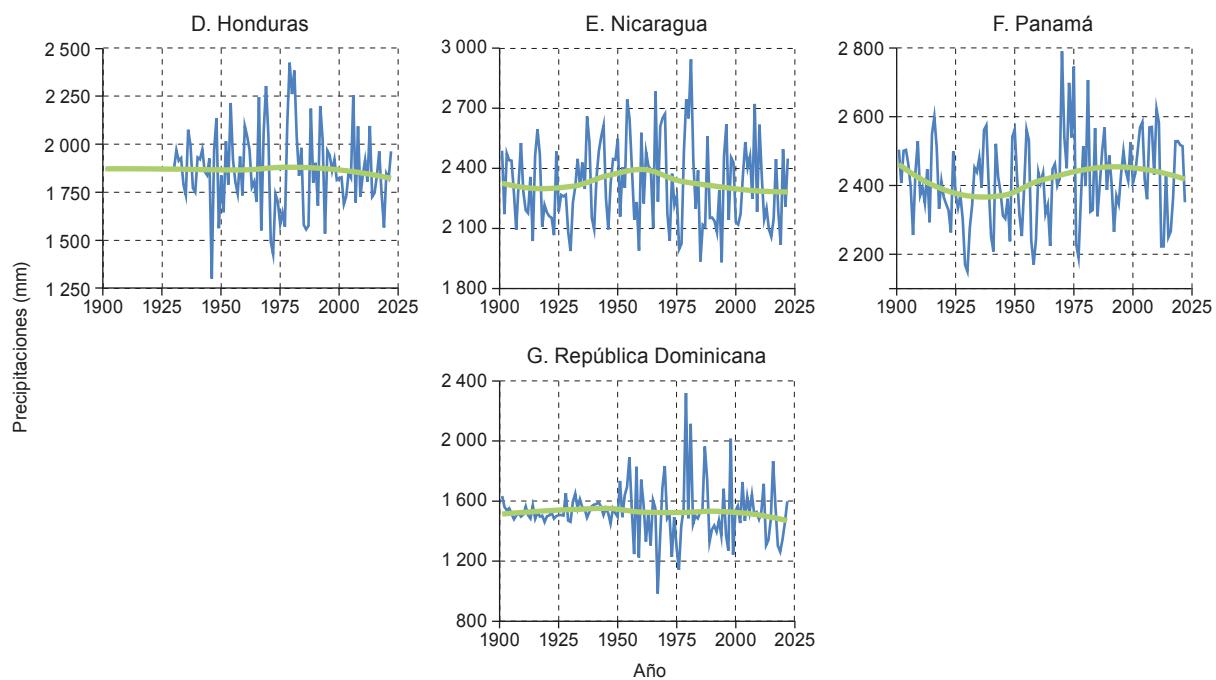
Gráfico 2
Temperatura promedio anual histórica (1901-2022)



Fuente: Elaboración propia en base a World Bank, Portal de conocimiento sobre el cambio climático (2024).

Gráfico 3
Precipitación promedio anual histórica (1901-2022)





Fuente: Elaboración propia en base a Portal de conocimiento sobre el cambio climático (2024).

Para analizar las tendencias de largo plazo, la Organización Meteorológica Mundial define el clima como la distribución completa de probabilidad de las estadísticas meteorológicas relevantes (en este caso las temperaturas y las precipitaciones) durante un período mínimo de 30 años. Esto significa que el cambio climático es un cambio de la distribución de probabilidad de las estadísticas meteorológicas medidas durante un período de 30 años. Bajo este marco, la existencia de cambios de largo plazo debería observarse a través de la evolución de las distribuciones de las temperaturas y la precipitación, para las climatologías disponibles: 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 y 1991-2020 (véanse los cuadros 3 y 4).

Cuadro 3
Climatologías: temperatura promedio para períodos de 30 años
(En grados Celsius)

Década	Costa Rica	República Dominicana	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	El Salvador
1900-1930	24,25	23,16	22,80	24,00	25,25	25,13	24,48
1931-1960	24,26	23,68	22,88	23,99	25,19	25,27	24,46
1961-1990	24,28	24,04	22,99	24,09	25,28	25,16	24,57
1991-2020	24,83	24,55	23,65	24,72	25,88	25,60	25,23

Fuente: Elaboración propia en base a Portal de conocimiento sobre el cambio climático (2024).

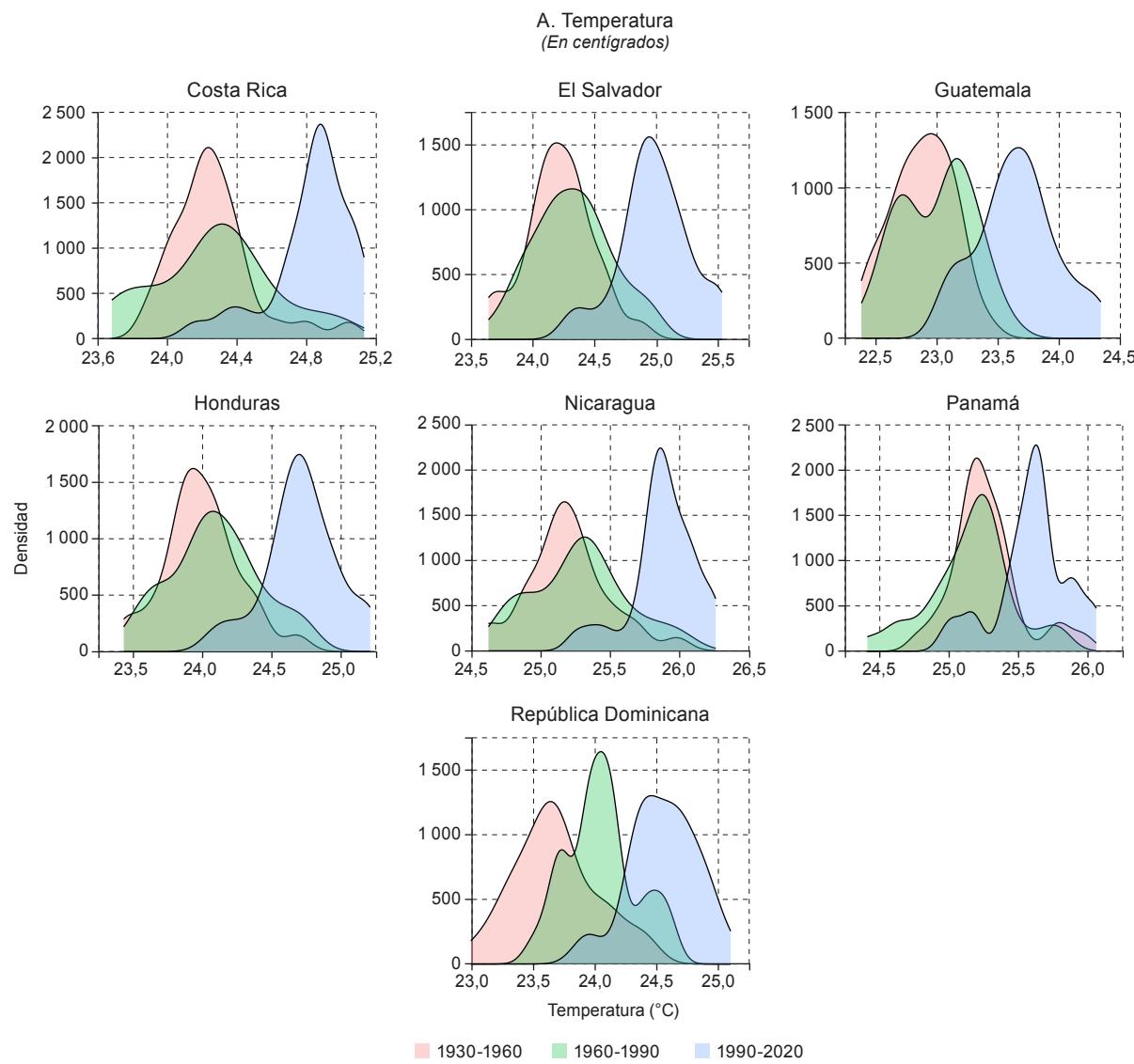
Cuadro 4
Climatologías: precipitación promedio para períodos de 30 años
(En milímetros)

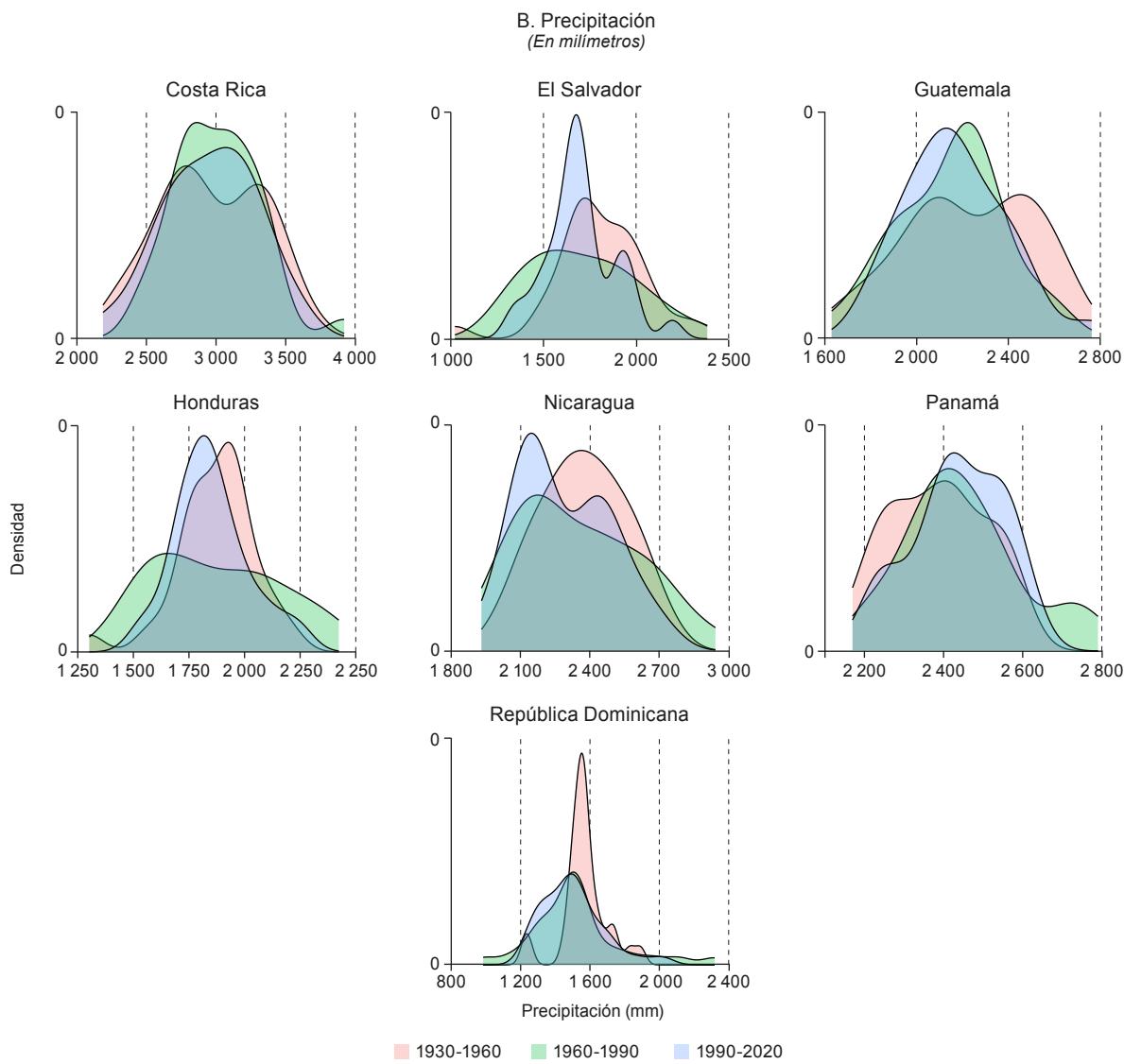
Década	Costa Rica	República Dominicana	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	El Salvador
1900-1930	2 720	1 517	2 167	1 871	2 275	2 392	1 709
1931-1960	2 968	1 568	2 230	1 869	2 374	2 387	1 804
1961-1990	3 015	1 524	2 149	1 876	2 351	2 450	1 712
1991-2020	2 961	1 501	2 170	1 851	2 289	2 436	1 701

Fuente: Elaboración propia en base a World Bank, Climate Change Knowledge Portal (2024).

La distribución de la temperatura observada por país exhibe un claro desplazamiento hacia mayores temperaturas. Para todos los casos, no hay un cambio aparente en el promedio de los períodos 1930-1960 y 1961-1990, mientras que, la distribución relativa a los últimos 30 años revela valores más altos, siendo República Dominicana el país que exhibe un mayor aumento. Para el caso de las precipitaciones, si bien las distribuciones muestran variabilidad para algunos países, no es posible discernir un cambio evidente en sus valores medios (véase el gráfico 4).

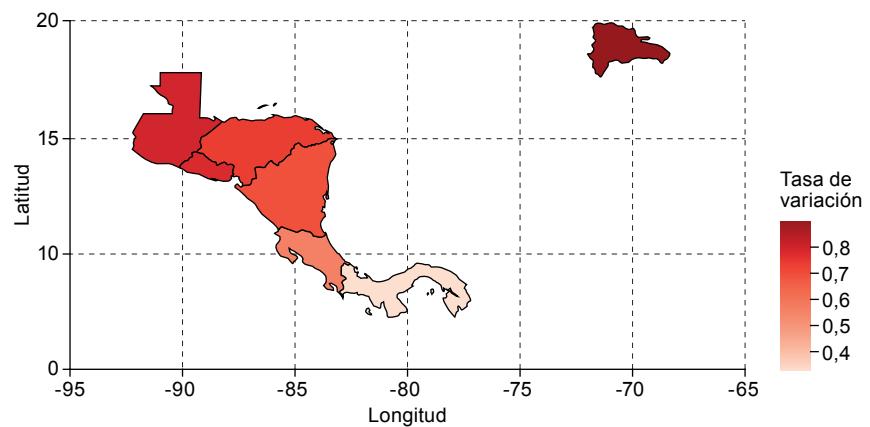
Gráfico 4
Distribución de las temperaturas y precipitaciones: 1930-1960, 1961-1990 y 1991-2020





Fuente: Elaboración propia en base a World Bank, Climate Change Knowledge Portal (2024).

Mapa 1
Variación en la climatología de 1990-2020 vs 1930-1960
(En grados Celsius)



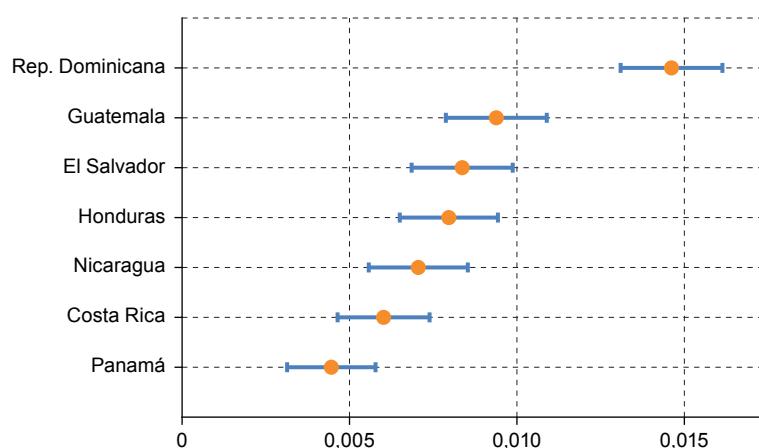
Fuente: Elaboración propia en base a World Bank, Climate Change Knowledge Portal (2024).

Todos los países muestran evidencia de mayor calentamiento, sin embargo, las velocidades en que este se está presentando puede variar. Para evaluar esto, se puede estimar la siguiente ecuación para cada país:

$$T_{it} = \gamma_{1i} + \gamma_{2i} trend + \epsilon_{it} \quad (3)$$

donde T_{it} denota la temperatura media del país i en el año t . De tal forma que, el coeficiente γ_{2i} mediría el aumento promedio anual del país i . Las estimaciones de los γ_{2i} , exhiben que el cambio en la temperatura es estadísticamente significativo, y que la República Dominicana es el país que ha experimentado un calentamiento más acelerado (véase el gráfico 5) en el período 1901-2022.

Gráfico 5
Aumento anual promedio de la temperatura por país, 1901-2022
(En centígrados)



Fuente: Elaboración propia en base a Portal de conocimiento sobre el cambio climático (2024).

Dado que la temperatura muestra un cambio de tendencia, una prueba adicional que es posible desarrollar es comprobar si este cambio es significativo. Para ello se puede utilizar la ecuación (3) y hacer una prueba de estabilidad. Para ello, se utiliza la prueba de Chow para comprobar si el coeficiente γ_{2i} es igual para distintos períodos de tiempo, donde la hipótesis nula es que el coeficiente es igual para ambos períodos.

Los resultados muestran que, comparando los períodos 1930-1989 y 1990-2022, se rechaza la hipótesis de estabilidad del coeficiente, a excepción del caso de República Dominicana. El coeficiente de 1990 a 2022 tiende a ser mayor que el de 1930 a 1989, lo que mostraría que el aumento de temperatura se ha acelerado los últimos años (véase el cuadro 5). Sin embargo, para el caso de Costa Rica, los coeficientes de las regresiones separadas no son estadísticamente significativos y, para República Dominicana, el coeficiente para los últimos 30 años no es significativo. Esto se podría explicar porque República Dominicana exhibe una tendencia creciente durante toda la muestra y no habría evidencia de cambio estructural, mientras que, para el caso de Costa Rica, se evidencia una tendencia que tiende a planearse al final de la muestra.

Dados estos hallazgos, se requiere el análisis de las características detalladas de las series que incorpore pruebas de determinación del momento o momentos de los cambios estructurales, y también si la varianza de la serie se ha modificado. Sin embargo, estos análisis van más allá del enfoque de este documento.

Cuadro 5
Coeficiente γ_{2i} para distintos períodos y prueba de estabilidad de Chow con el punto de quiebre en 1990

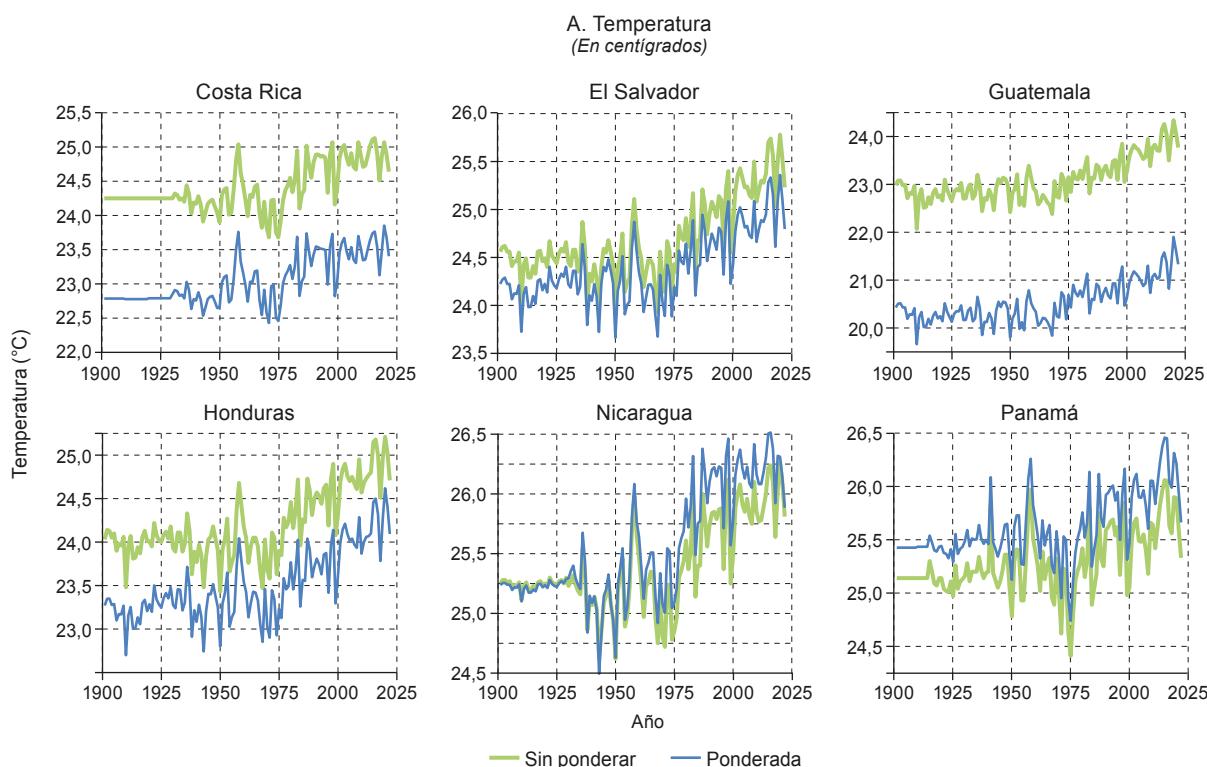
País	1930-2022	1930-1989	1990-2022	Prueba de Chow (H0: estabilidad)
Costa Rica	0,0094***	0,0033	0,0040	F = 7,6129, p-value = 0,0008
Guatemala	0,0137***	0,0065**	0,0246***	F = 12,309, p-value = 0,0000
El Salvador	0,0132***	0,0060***	0,0183***	F = 9,6238, p-value = 0,0001
Honduras	0,0125***	0,0061***	0,0160***	F = 7,6901, p-value = 0,0008
Nicaragua	0,0116***	0,0055**	0,0094**	F = 6,4722, p-value = 0,0023
Panamá	0,0058***	-0,0011	0,0077*	F = 7,8992, p-value = 0,0006
República Dominicana	0,0142***	0,0122***	0,0069	F = 1,8315, p-value = 0,1662

Fuente: Elaboración propia.

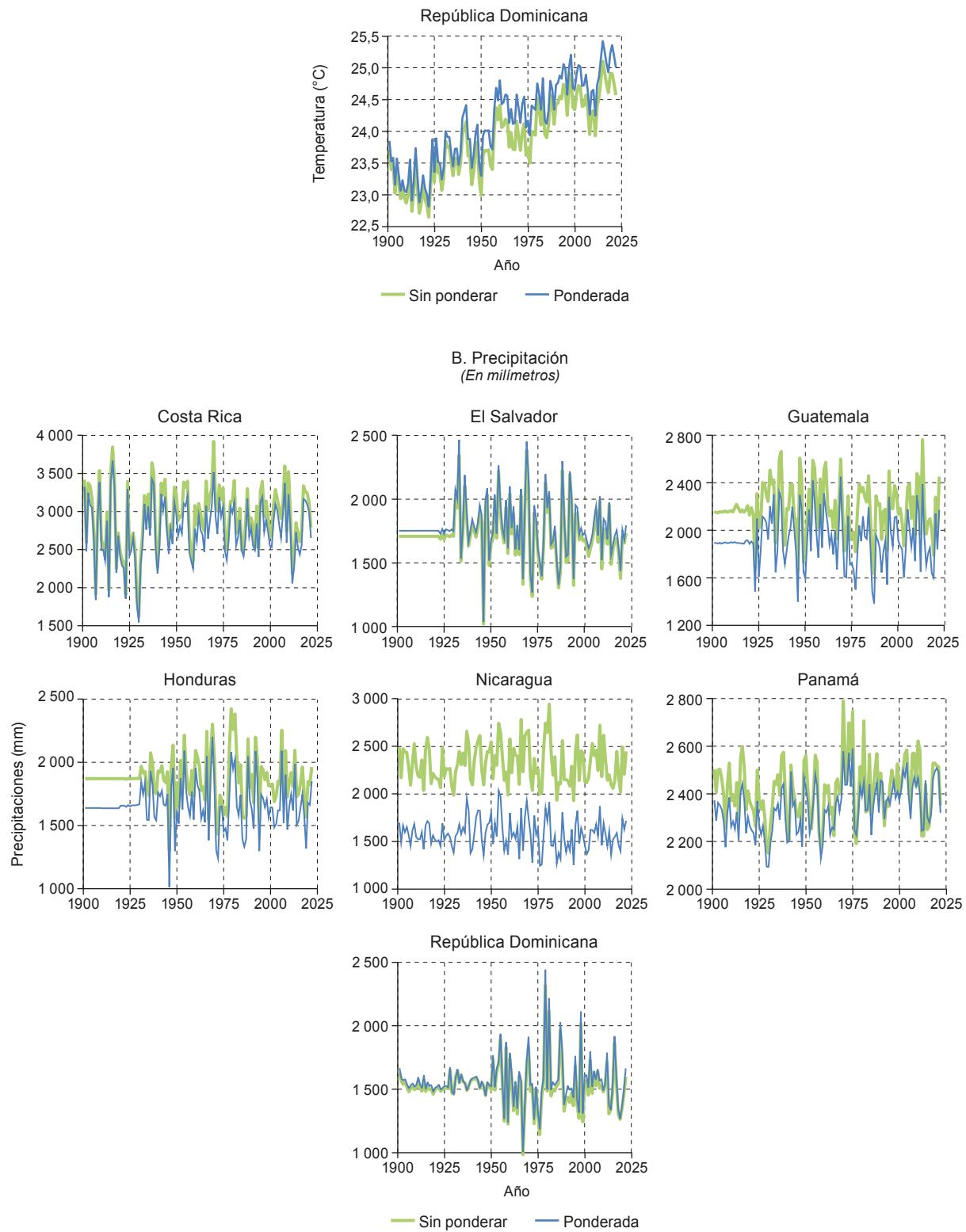
Nota: *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.

Asimismo, se utilizaron ambas variables ponderadas por población, con el objetivo de contabilizar efectivamente los cambios de temperatura y precipitación en los lugares donde se lleva a cabo la actividad económica. Estos datos se obtuvieron de Weighted Climate Dataset⁷ (Gortan y otros, 2024). El análisis visual muestra diferencias de nivel significativas en la temperatura de Costa Rica y Guatemala, menores en Honduras y Panamá. Para el caso de la precipitación, solamente Nicaragua muestra una diferencia significativa (véase el gráfico 6).

Gráfico 6
Temperatura y precipitación anual ponderada por población y sin ponderar, 1901-2022



⁷ Para más información favor dirigirse a Weighted Climate Dataset.



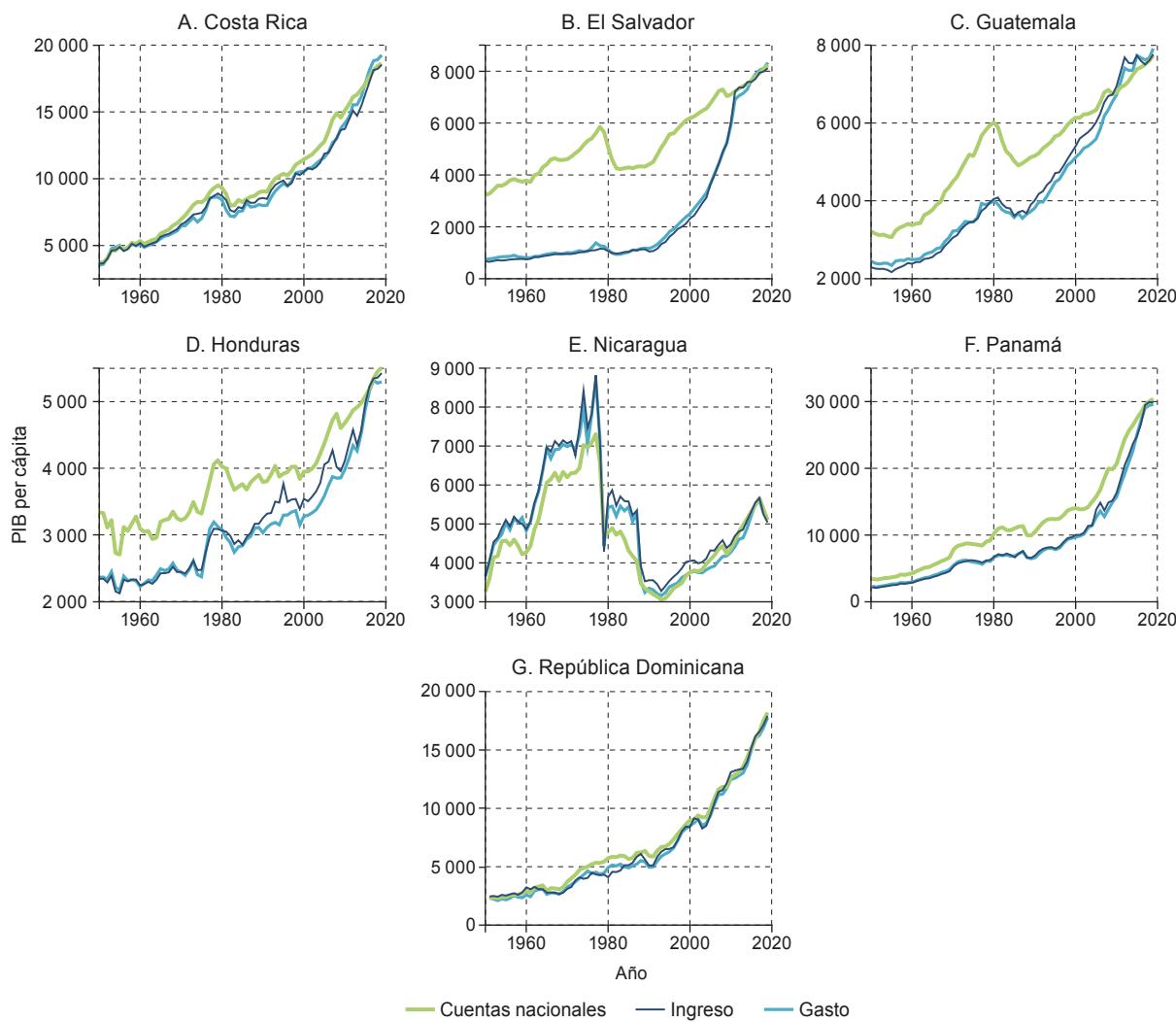
Fuente: Elaboración propia en base a World Bank, Climate Change Knowledge Portal (2024).
 Nota: Portal de conocimiento sobre el cambio climático (2024) y Weighted Climate Dataset.

B. Crecimiento económico

Los datos referentes al crecimiento económico se obtuvieron de la base de datos de Penn World Table⁸, relativos al PIB per cápita calculado por el lado del gasto, del ingreso y de las cuentas nacionales para el período de 1950 a 2022, y el PIB per cápita del World Development Indicators (WDI), que incluye información desde 1961 hasta el año 2023.

Existen algunas diferencias entre las series, siendo la más significativa para el caso de El Salvador (véase el gráfico 7). Por lo cual, en la selección del modelo para realizar las simulaciones se debió considerar la especificación seleccionada por cada país⁹.

Gráfico 7
PIB per cápita, 1950-2019
(En dólares de 2017 en paridad de poder adquisitivo (PPP))

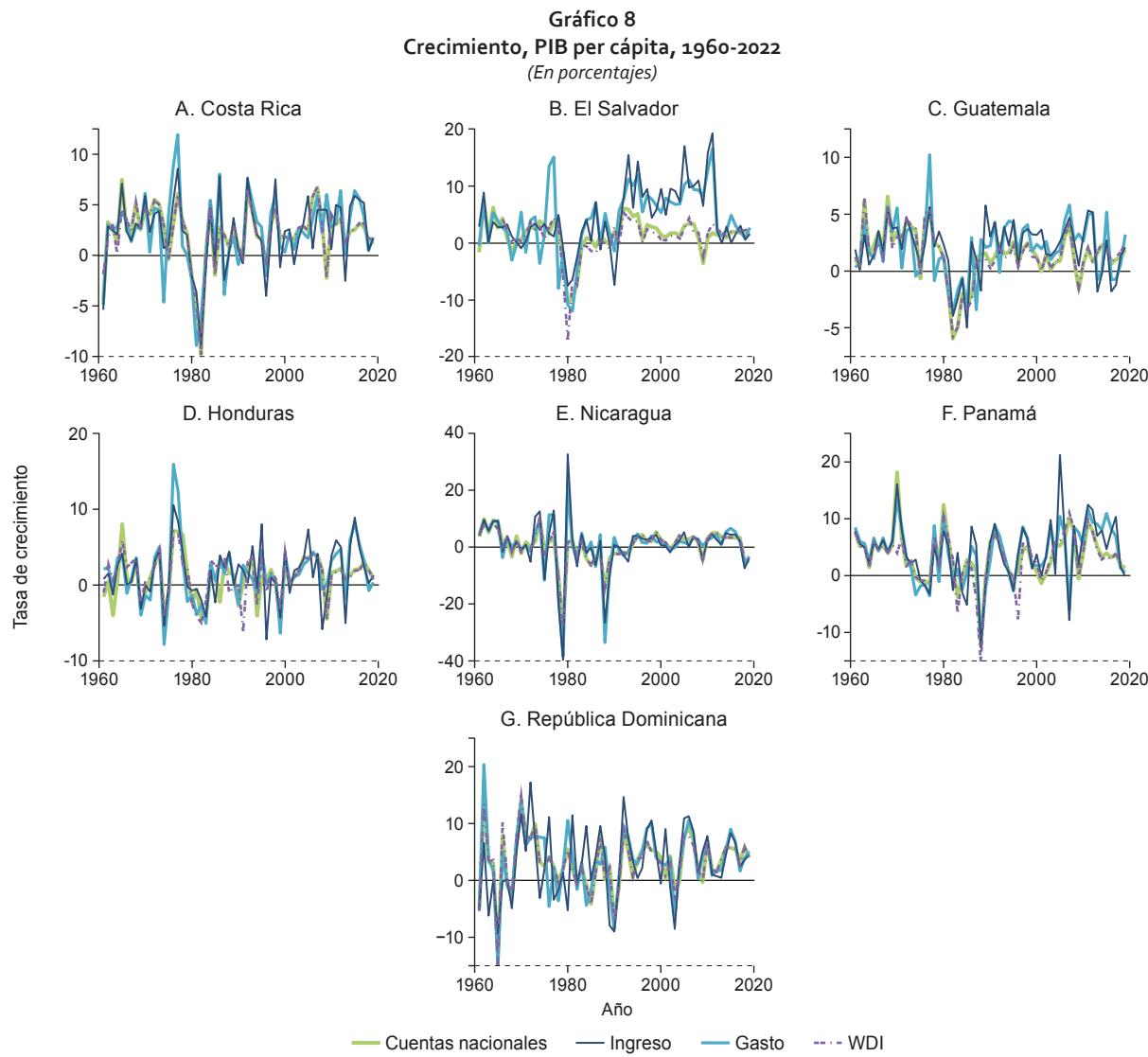


Fuente: Elaboración propia en base a Penn World Table.

⁸ PWT 10.01 | Penn World Table | Groningen Growth and Development Centre.

⁹ En el caso de El Salvador, se siguió la orientación de Feenstra, Inklaar y Timmer (2015), en donde se expone que cuando existe un objetivo de comparación del crecimiento de las economías, se recomienda el uso de las series PIB real según las cuentas nacionales.

Dado que la serie de WDI está en una unidad de medida distinta, es útil presentar las tasas de crecimiento de las cuatro series a forma de comparación (véase el gráfico 8).



Fuente: Elaboración propia en base a Penn World Table.

C. Estimación

Dado el conjunto de datos con que se cuenta, cuatro medidas de PIB per cápita y dos conjuntos de variables climáticas, ponderadas y sin ponderar, y si se consideran tendencias por país, es posible contar con 16 estimaciones a partir de la ecuación 1 (véase el cuadro 6).

Si bien este análisis tiene como foco los países en la región CAPARD, la estimación se realizará utilizando datos disponibles de todos los países de América Latina y el Caribe (ALC)¹⁰ para aprovechar la variabilidad climática. La estimación se realizó utilizando efectos fijos y errores estándar robustos (véase el cuadro 7). Los resultados muestran que existe una relación estadísticamente significativa negativa y no lineal entre la tasa de crecimiento del PIB per cápita y la temperatura. Por su parte, los modelos que incluyen tendencias lineales y cuadráticas por país tienden a mostrar coeficientes no significativos.

¹⁰ Argentina, Antigua & Barbuda, Bahamas, Belice, Bolivia, Brasil, Barbados, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominica, República Dominicana, Ecuador, Granada, Guatemala, Guyana, Honduras, Haití, Jamaica, St. Kitts & Nevis, St. Lucia, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Paraguay, El Salvador, Surinam, Trinidad & Tobago, Uruguay, St. Vincent & Granadinas, Venezuela.

Cuadro 6
Tipos de especificación de función de daño

Variable	Temperatura y precipitación sin ponderar		Temperatura y precipitación ponderada por población	
	No	Sí	No	Sí
Incluye tendencias por país	Por el lado del gasto	1	5	9
	Por el lado del producto	2	6	10
	Por el lado de cuentas nacionales	3	7	11
	De WDI	4	8	12
PIB per cápita				16

Nota: Se identifican las funciones de daño con los números del 1 al 16 para mayor simplicidad.

Cuadro 7
Efectos de las variaciones en la temperatura promedio global y las precipitaciones
sobre el crecimiento económico de la región de América Latina y el Caribe

Variables	Sin tendencias país				Con tendencias país			
	Especificación 1	Especificación 2	Especificación 3	Especificación 4	Especificación 5	Especificación 6	Especificación 7	Especificación 8
	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)
Temperatura	0,0836*** (0,0277)	0,0910*** (0,0295)	0,0513*** (0,0165)	0,0315* (0,0180)	0,0228 (0,0288)	0,0367 (0,0308)	0,0149 (0,0201)	0,0244 (0,0206)
Temperatura al cuadrado	-0,0020*** (0,0006)	-0,0021*** (0,0006)	-0,0013*** (0,0003)	-0,0008** (0,0004)	-0,0003 (0,0007)	-0,0006 (0,0007)	-0,0003 (0,0004)	-0,0007 (0,0005)
Precipitación	0,0001** (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0001** (0,0000)	0,0001 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)
Precipitación al cuadrado	-0,0000** (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000*** (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)
R^2	0,0067	0,0056	0,0106	0,0040	0,1367	0,1182	0,0927	0,0998
Adj. R^2	-0,0478	-0,0489	-0,0436	-0,0497	0,0583	0,0381	0,0102	0,0171
Núm. obs.	1 982	1 982	1 982	1 878	1 982	1 982	1 982	1 878

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1. Errores estándar entre paréntesis. Para el cálculo del modelo econométrico se trabajó con un horizonte temporal entre 1950-2022.

Cuadro 8
**Efectos de las variaciones en la temperatura global promedio y las precipitaciones sobre el crecimiento económico
de la región de América Latina y el Caribe: resultados ponderados por población**

Variables	Sin tendencias país				Con tendencias país			
	Especificación 9	Especificación 10	Especificación 11	Especificación 12	Especificación 13	Especificación 14	Especificación 15	Especificación 16
	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)
Temperatura	0,0605*** (0,0177)	0,0648*** (0,0181)	0,0441*** (0,0098)	0,0275*** (0,0102)	-0,0093 (0,0225)	-0,0065 (0,0241)	0,0018 (0,0167)	0,0205 (0,0162)
Temperatura al cuadrado	-0,0017*** (0,0005)	-0,0018*** (0,0005)	-0,0012*** (0,0002)	-0,0008*** (0,0003)	0,0003 (0,0006)	0,0003 (0,0006)	-0,0000 (0,0004)	-0,0006 (0,0004)
Precipitación	0,0001*** (0,0000)	0,0001* (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0001** (0,0000)	0,0001 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)
Precipitación al cuadrado	-0,0000*** (0,0000)	-0,0000* (0,0000)	-0,0000** (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000*** (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	-0,0000* (0,0000)	0,0000 (0,0000)
R^2	0,0117	0,0092	0,0152	0,0083	0,1378	0,1185	0,0928	0,1011
Adj. R^2	-0,0425	-0,0452	-0,0388	-0,0452	0,0594	0,0384	0,0103	0,0185
Núm. obs.	1 982	1 982	1 982	1 878	1 982	1 982	1 982	1 878

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1. Errores estándar entre paréntesis. Para el cálculo del modelo econométrico se trabajó con un horizonte temporal entre 1950-2022.

Los resultados se corroboran al utilizar los datos ponderados (véase el cuadro 8). En las especificaciones 1 a 4 y 9 a 12 se obtienen coeficientes estadísticamente significativos para la temperatura y la temperatura al cuadrado y signos consistentes con una función cóncava. De esta manera, es posible calcular la temperatura óptima a través de la siguiente ecuación:

$$T^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} \quad (4)$$

Dependiendo la especificación, la temperatura óptima implícita para los países de la región oscila entre 18,9 °C y 21,5 °C para la temperatura sin ponderar y entre 16,5 °C y 18 °C para los datos ponderados por población (véase el cuadro 9). Para los países CAPARD, la temperatura promedio de los últimos 30 años, se encuentra por encima de esta temperatura, lo que implicaría que los subsecuentes aumentos de temperatura provocan reducción del crecimiento económico.

Cuadro 9
Resultados: temperatura óptima

Especificación	Temperatura	Temperatura al cuadrado	Temperatura óptima
1	0,083591	-0,001953	21,4
2	0,090965	-0,002117	21,5
3	0,051253	-0,001321	19,4
4	0,031489	-0,000833	18,9
9	0,060467	-0,001677	18,0
10	0,064810	-0,001774	18,3
11	0,044056	-0,001233	17,9
12	0,027484	-0,000835	16,5

Fuente: Elaboración propia a partir de los cuadros 5 y 6.

A través de la ecuación (2) hacemos el análisis de largo plazo. Con motivos de comparación, se estimaron solamente las especificaciones significativas utilizando los promedios por décadas. De esta manera, con excepción de la especificación 4, el resto de las ecuaciones evidenció la existencia a largo plazo de una relación significativa y no lineal entre el crecimiento económico y la temperatura promedio, lo que sugiere la carencia de adaptación (véase el cuadro 10).

Cuadro 10
Resultados: regresiones con promedios por década

Variables	Sin tendencias país				Sin tendencias país, ponderados por población			
	Especificación 1	Especificación 2	Especificación 3	Especificación 4	Especificación 9	Especificación 10	Especificación 11	Especificación 12
	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)	PIB per cápita (gasto)	PIB per cápita (producto)	PIB per cápita (cuentas nacionales)	PIB per cápita (WDI)
Temperatura	1,0297** (0,3768)	0,8790* (0,3791)	0,9664** (0,3486)	0,2989 (0,3508)	0,6244*** (0,1391)	0,6603*** (0,1494)	0,5800*** (0,1389)	0,2982* (0,1782)
Temperatura al cuadrado	-0,0259*** (0,0072)	-0,0233** (0,0073)	-0,0247*** (0,0067)	-0,0126* (0,0068)	-0,0204*** (0,0040)	-0,0206*** (0,0042)	-0,0186*** (0,0034)	-0,0140** (0,0046)
Precipitación	0,0001 (0,0007)	-0,0002 (0,0007)	0,0003 (0,0006)	0,0001 (0,0006)	-0,0001 (0,0005)	-0,0002 (0,0005)	0,0001 (0,0005)	-0,0002 (0,0005)
Precipitación al cuadrado	-0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)
R^2	0,0732	0,0673	0,1135	0,0768	0,0933	0,0891	0,1255	0,0804
Adj. R^2	-0,2234	-0,2311	-0,1702	-0,2597	-0,1969	-0,2023	-0,1543	-0,2548
Núm. obs.	166	166	166	147	166	166	166	147
Temperatura óptima	19,9	18,9	19,6	11,9	15,3	16,0	15,6	10,7

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1. Errores estándar robustos entre paréntesis.

Finalmente, se evalúa la persistencia de los aumentos de temperatura sobre al crecimiento económico mediante un modelo que incorpora rezagos de la variable explicativa (T_{it}) (Burke, Hsiang y Miguel, 2015). Para ello, se calcula el modelo de la especificación 3 con 0,1,3 y 5 rezagos, y se suman los coeficientes para obtener el impacto marginal acumulado. Luego, estos impactos parciales son evaluados a distintos niveles de temperatura y se comprueba su significancia.

Cuadro 11
Cálculo del impacto marginal acumulativo por número de rezagos

Número de rezagos	Impacto Marginal Acumulativo
0	$\hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2(T^*)$
1	$\hat{\beta}_1 + \hat{\gamma}_1 + 2(T^*) (\hat{\beta}_2 + \hat{\gamma}_2)$
3	$\hat{\beta}_1 + \sum_{s \in \{1,3,5\}} \hat{\gamma}_s + 2(T^*) (\hat{\beta}_2 + \sum_{j \in \{2,4,6\}} \hat{\gamma}_j)$
5	$\hat{\beta}_1 + \sum_{s \in \{1,3,5,7,9\}} \hat{\gamma}_s + 2(T^*) (\hat{\beta}_2 + \sum_{j \in \{2,4,6,8,10\}} \hat{\gamma}_j)$

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los parámetros $\hat{\beta}$ y $\hat{\gamma}$ se obtienen de estimar el modelo $\Delta y_{it} = \omega_i + \theta_d + \beta_1 T_{it} + \beta_2 T_{it}^2 + \beta_3 P_{it} + \beta_4 P_{it}^2 + \varepsilon_{it}$ para 0 rezagos; $\Delta y_{it} = \omega_i + \theta_d + \beta_1 T_{it} + \beta_2 T_{it}^2 + \gamma_1 T_{it-1} + \gamma_2 T_{it-2} + \varepsilon_{it}$ para 1 rezago; $\Delta y_{it} = \omega_i + \theta_d + \beta_1 T_{it} + \beta_2 T_{it}^2 + \gamma_1 T_{it-1} + \gamma_2 T_{it-2} + \gamma_3 T_{it-3} + \gamma_4 T_{it-4} + \gamma_5 T_{it-5} + \gamma_6 T_{it-6} + \varepsilon_{it}$ para 3 rezagos, y sucesivamente para 5 rezagos. Luego se calcula el impacto marginal evaluado a un nivel T^* para obtener así el impacto parcial acumulativo.

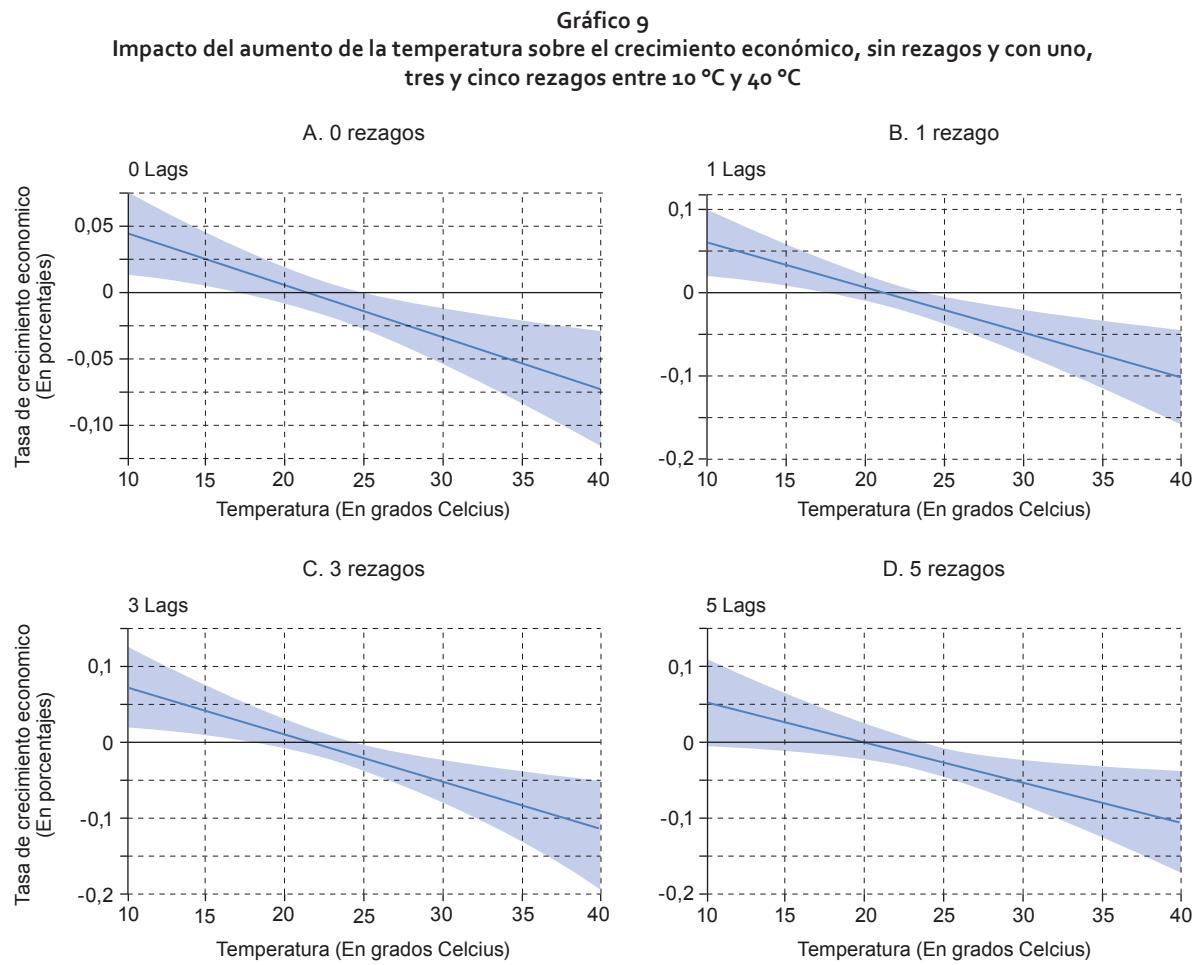
Este enfoque permite distinguir entre impactos transitorios (impactos en nivel) y permanentes (afectan el crecimiento). Los impactos transitorios se identifican cuando los efectos acumulativos tienden a cero al incluir más rezagos, lo que indica que el impacto de la temperatura desaparece con el tiempo. En contraste, los impactos permanentes se reflejan en efectos acumulados significativos y con el mismo signo persistente a lo largo de los rezagos, lo que sugiere un impacto duradero.

En el cuadro 12 se aprecia que los impactos marginales varían a distintas temperaturas. Para temperaturas bajas (5 °C -10 °C), los efectos son positivos y permanentes al mejorar las condiciones en regiones frías. Sin embargo, a temperaturas altas (superiores a 25 °C), lo cual es cercano al rango donde se encuentran los países de Centroamérica, Panamá y República Dominicana, los efectos son consistentemente negativos, reflejando así un impacto negativo en la tasa de crecimiento.

Cuadro 12
Efectos marginales de la temperatura en el crecimiento del PIB per cápita a distintos niveles de temperatura

Temperatura (T^*)	0 rezagos	1 rezago	3 rezagos	5 rezagos
5 °C	0,0641*** (0,0219)	0,0426** (0,0170)	0,0551** (0,0210)	0,0378 (0,0235)
10 °C	0,0446*** (0,0162)	0,0270* (0,0130)	0,0356** (0,0162)	0,0216 (0,0180)
15 °C	0,0251** (0,0111)	0,0114 (0,0092)	0,0161 (0,0115)	0,0054 (0,0128)
20 °C	0,0056 (0,0070)	-0,0042 (0,0062)	-0,0034 (0,0077)	-0,0108 (0,0084)
25 °C	-0,0131** (0,007)	-0,0197*** (0,0055)	-0,0230*** (0,0062)	-0,0271*** (0,0065)
30 °C	-0,0334*** (0,011)	-0,0353*** (0,0077)	-0,0425*** (0,0085)	-0,0433*** (0,0091)

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

IV. Impacto económico proyectado del cambio climático

El siguiente paso es realizar proyecciones hasta 2050 utilizando las estimaciones. Para efecto de este documento utilizaremos la especificación 3 como la preferida por los autores. En particular, esta estimación utiliza los datos de PIB per cápita que más se aproxima a los calculados nacionalmente. En esta sección se detalla la metodología utilizada para estos efectos.

A. Metodología para el cálculo del impacto económico proyectado del cambio climático

Para proyectar los efectos del cambio climático sobre el crecimiento, es necesario construir un escenario base, en el cual se considere que las temperaturas se mantengan fijas en los niveles de 2022, último dato disponible. Posteriormente, se construyen proyecciones de crecimiento considerando diversos escenarios de calentamiento global y se comparan con el escenario base.

La evolución del PIB per cápita ($PIBcap$) en el país i en el año t viene dada por la ecuación:

$$PIBcap_{it} = PIBcap_{it-1} * (1 + \theta_{it} + \delta_{it}) \quad (5)$$

donde θ_{it} representa la tasa de crecimiento en el escenario base, donde hay ausencia de cambio climático, y δ_{it} es el impacto del aumento de la temperatura sobre la actividad económica. Este impacto es calculado como la diferencia entre la función de daño con cambio climático y sin cambio climático:

$$\delta_{it} = [\beta_1 T_{it}^{con\ CC} + \beta_2 T_{it}^{con\ CC\ 2}] - [\beta_1 T_{it}^{sin\ CC} + \beta_2 T_{it}^{sin\ CC\ 2}] \quad (6)$$

siendo β_1 el coeficiente estimado para el cálculo del efecto lineal de la temperatura y β_2 el coeficiente asociado al efecto no lineal de la temperatura. $T_{it}^{sin\ CC}$ es la temperatura bajo escenario sin cambio climático y $T_{it}^{con\ CC}$ es la temperatura proyectada para cada país i en cada año t bajo los diferentes escenarios de cambio climático.

De esta manera, el escenario base se construye haciendo algún supuesto sobre el valor de θ_{it} y $\delta_{it} = 0$. Mientras que, cada escenario alternativo con cambio climático se calcula estimando δ_{it} e incluyéndola en la ecuación (5).

B. Construcción de escenarios

Para construir la línea de base, la tasa de crecimiento en ausencia de cambio climático, se utiliza la información de la base de datos de los SSP DE IIASA¹¹. En particular, se toma como base la serie de datos de PIB per cápita de la base OECD ENV-Growth (OECD, 2024) relativo al escenario SSP₂, considerado como “mitad de camino”. La base de datos contiene datos quinquenales, por lo cual se hizo una interpolación para contar con datos anuales. La tasa de crecimiento del PIB per cápita que se obtiene de esta serie, será la referencia en este estudio.

Para la construcción de escenarios, se utilizaron los datos proyectados de temperatura del *Climate Change Knowledge Portal* del Banco Mundial. La variable seleccionada es la temperatura media del aire en la superficie (en °C) que está disponible para el intervalo 2015 - 2100, bajo el modelo de datos de CMIP6 (proyecto de intercomparación de modelos acoplados, fase 6)¹². Las proyecciones climáticas se basan en un conjunto de escenarios de emisiones y usos del suelo producidos con una colección de modelos de evaluación integrados (IAMs), basados en vías futuras de desarrollo social conocidas como vías socioeconómicas compartidas (SSPs). Para preservar coherencia, los niveles de emisión seleccionados en los SSP considerados mantienen importantes relaciones con las vías de concentración representativas (RCP). Se consideran diversas vías de desarrollo de la sociedad para las que se están realizando proyecciones de cambio climático (SSP-RCP), cada una de la cual representa una posible vía de desarrollo social y político para alcanzar el forzamiento radiactivo previsto para finales de siglo¹³ (véase el cuadro 13).

Cuadro 13
Escenarios utilizados en la compilación CMIP6-xo.25

Escenario	Características	Incremento de la temperatura proyectado a 2100
SSP1-1.9	Bajo forzamiento, alineado con un objetivo de limitación del calentamiento global a 1.5 °C a 2100. Su forzamiento radiativo de fin de siglo respecto a las condiciones preindustriales es de 1,9 vatios por metro cuadrado (W/m ²)	~1.5 °C
SSP1-2.6	Bajo forzamiento, basado en reducciones de emisiones y medidas sostenibles, con una fuerte reducción de las emisiones mundiales y un objetivo de aumento de la temperatura media mundial probablemente limitado a 2 °C en 2100. Sin embargo, su nivel de forzamiento está alineado con el escenario RCP2.6, en el que las emisiones netas cero se alcanzan después del 2050.	~2 °C
SSP2-4.5	Nivel medio de forzamiento, alineado con RCP4.5, en el que las emisiones se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo. La reducción de emisiones cero no se alcanzará hasta después de 2100.	~2.6 °C
SSP3-7.0	Representa un mundo polarizado en el que perduran los conflictos regionales y existe un escenario de alto forzamiento con elevadas emisiones, alta vulnerabilidad social, y cambios significativos en el uso de la tierra. Las emisiones se duplicarán con respecto a los niveles actuales para 2100.	~3.2 °C
SSP5-8.5	Escenario de forzamiento alto, caracteriza un futuro con emisiones extremadamente altas. Representa un futuro basado en una explotación intensificada de combustibles fósiles en el que los mercados mundiales están cada vez más integrados, lo que da lugar a las innovaciones y avances tecnológicos. Pese a ello, el forzamiento radiativo asociado a este escenario es el más elevado (RCP 8.5).	~4.3 °C

Fuente: Eyring et al. (2016); O'Neill et al. (2016).

De tal manera que, partiendo del último dato de temperatura disponible, 2022, se interpola linealmente el aumento a 2100, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_{it}^{con\ CC} = T_{it-1} + \Delta T_i \quad (7)$$

¹¹ SSP Scenario Explorer (SSP 3.0, Release January 2024).

¹² El conjunto de datos incluye escenarios futuros para hasta 30 modelos.

¹³ No se pretende que se interpreten como las únicas vías posibles para alcanzar los niveles de forzamiento específicos, sino que se han seleccionado como ejemplos representativos.

$$\text{Donde, } \Delta T_i = \frac{T_{i2100} - T_{i,2022}}{2100 - 2022}$$

Dado que se están utilizando dos bases distintas, el CRU para los datos históricos, 1950-2022, y el CMIP6 para las proyecciones, 2015-2100, es necesario encadenar los datos de forma consistente. Con esta finalidad, como punto de partida se utilizaron los datos históricos promedios del período comprendido entre 1984-2014 de los datos del CRU, y luego se le adiciona el incremento de la temperatura a 2100, calculado como la diferencia entre la temperatura proyectada a 2100 y el promedio histórico comprendido entre 1984-2014, ambos bajo el modelo CMIP6. $T_{i,2022}$ es la temperatura del último año del período histórico (2022) bajo el modelo CRU, mientras que, T_{i2100} es la temperatura promedio del período histórico comprendido entre 1984-2014 bajo el modelo CRU y el incremento de temperatura a 2100 bajo el modelo CMIP6-xo.25, respecto a la temperatura promedio del período histórico comprendido entre 1984-2014 bajo el modelo CMIP6-xo.25.

C. Resultados a nivel nacional a 2050

Utilizando las estimaciones presentadas en la sección anterior, es posible proyectar los impactos económicos del cambio climático por país¹⁴ con escenarios de calentamiento global y supuestos sobre el crecimiento económico y poblacional descritos en el cuadro 13¹⁵.

1. Costa Rica

En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +1.6 °C que experimentaría Costa Rica produciría que el valor del PIB per cápita sea un 31% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 10A y 10B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 2.7 puntos porcentuales (2.3% vs -0.4%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.2 puntos porcentuales (2.3% vs 1.1%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.6 puntos porcentuales (2.3% vs 1.7%) (véase el gráfico 10C).

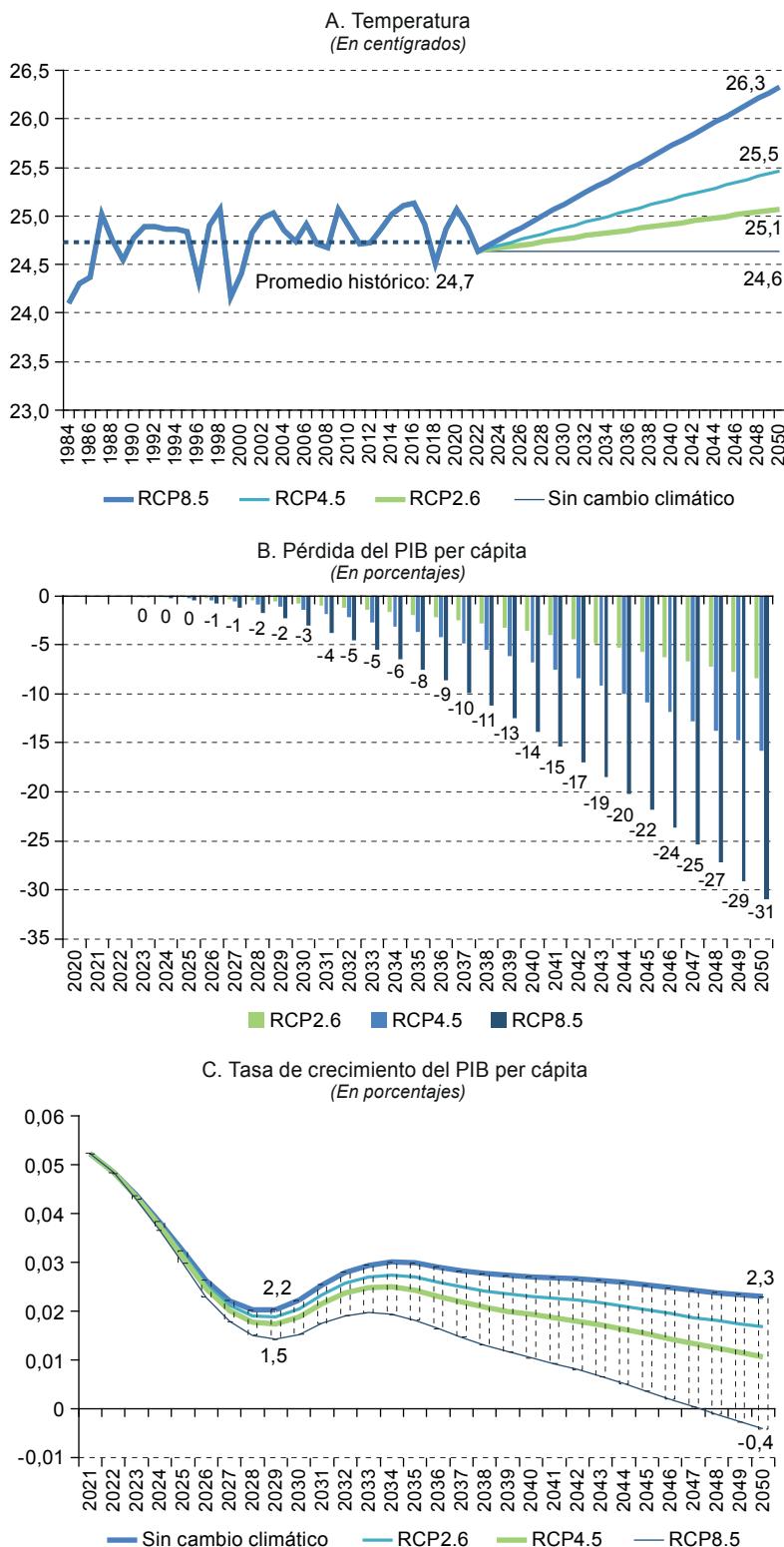
Costa Rica, reconocido por su liderazgo en sostenibilidad y biodiversidad, enfrenta un desafío significativo ante el cambio climático. Su ubicación geográfica y dependencia de sectores sensibles al clima, como el turismo y la agricultura, lo hacen particularmente vulnerable a los impactos del calentamiento global. Según nuestras estimaciones, el aumento de temperatura proyectado para el año 2050 podría ocasionar pérdidas económicas severas, afectando directamente el PIB per cápita del país. Incluso en escenarios de mitigación ambiciosos, las consecuencias del cambio climático seguirán representando un obstáculo importante para el desarrollo económico y la estabilidad social.

El país ha asumido un fuerte compromiso con la acción climática a través de su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), estableciendo la meta de alcanzar la descarbonización total para 2050. Su Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 y la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático buscan fortalecer la resiliencia del país y promover un desarrollo económico sostenible. Sin embargo, los resultados de nuestras proyecciones resaltan la necesidad de redoblar esfuerzos en adaptación y mitigación, asegurando que Costa Rica continúe liderando en la lucha contra el cambio climático.

¹⁴ La función de daño de referencia que se utilizará para todos los países, a fin de poder facilitar la comparación de resultados, será la especificación 3 de la ecuación (A), dado que los coeficientes obtenidos son estadísticamente significativos y cuyos valores son conservadores respecto a otras especificaciones.

¹⁵ Se utilizarán los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para las estimaciones.

Gráfico 10
Costa Rica: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

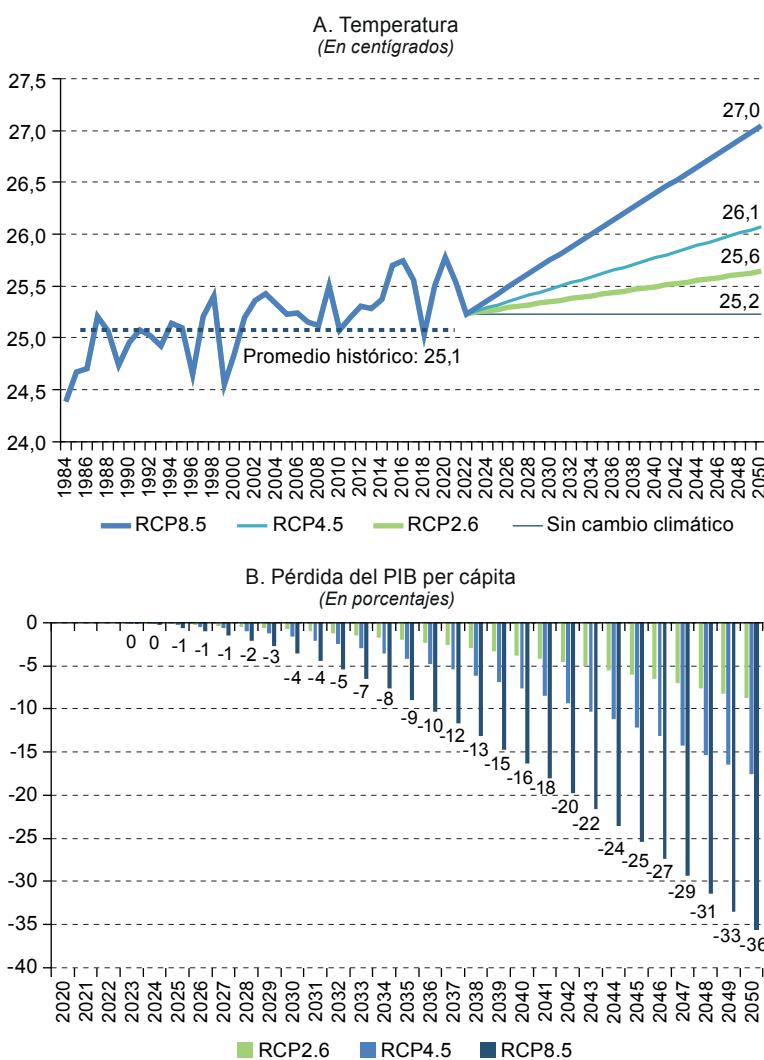
2. El Salvador

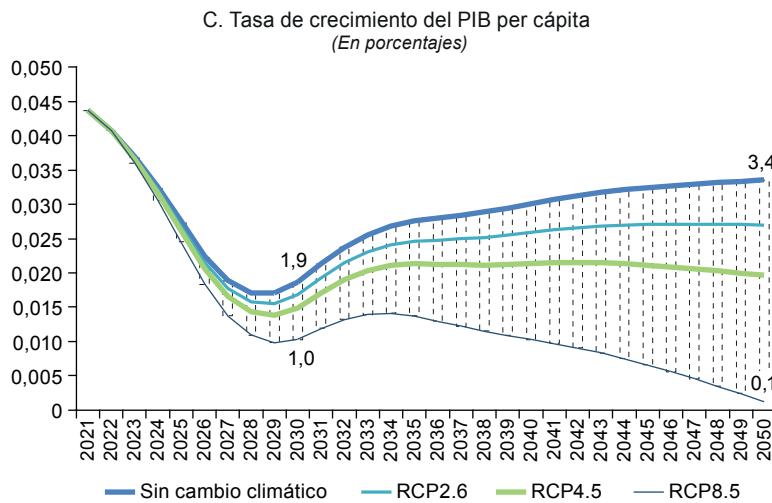
El Salvador es el segundo país de la subregión con los valores más altos de pérdidas económicas producto del cambio climático. En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +2 °C que experimentaría El Salvador produciría que el valor del PIB per cápita sea un 36% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 11A y 11B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 3.2 puntos porcentuales (3.4% vs 0.1%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.4 puntos porcentuales (3.4% vs 2%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.7 puntos porcentuales (3.4% vs 2.7%) (véase el gráfico 11C).

Gráfico 11

El Salvador: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)





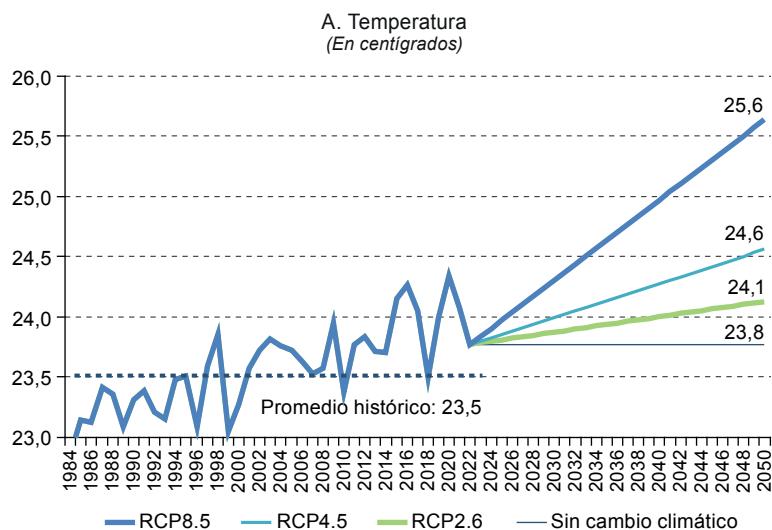
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

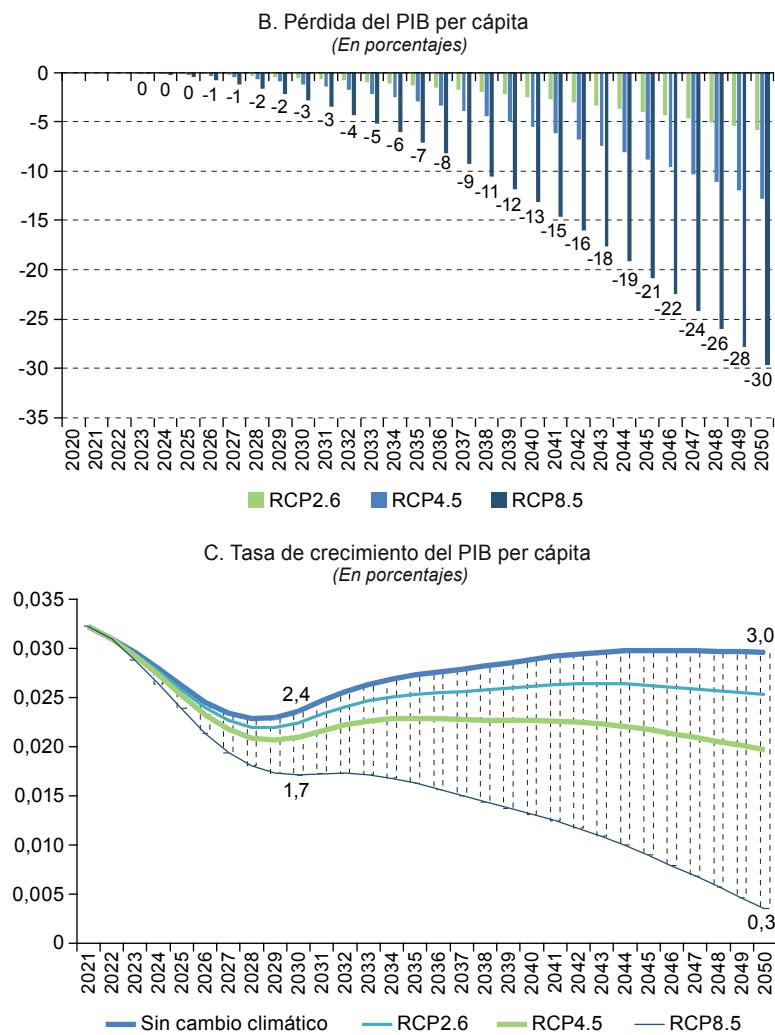
3. Guatemala

En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +2.2 °C que experimentaría Guatemala produciría que el valor del PIB per cápita sea un 30% menor de lo que habría sido sin el cambio climático (véanse los gráficos 12A y 12B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 2.6 puntos porcentuales (3% vs 0.4%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1 punto porcentual (3% vs 2%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.4 puntos porcentuales (2.87% vs 2.54%) (véase el gráfico 12C).

Gráfico 12
Guatemala: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)





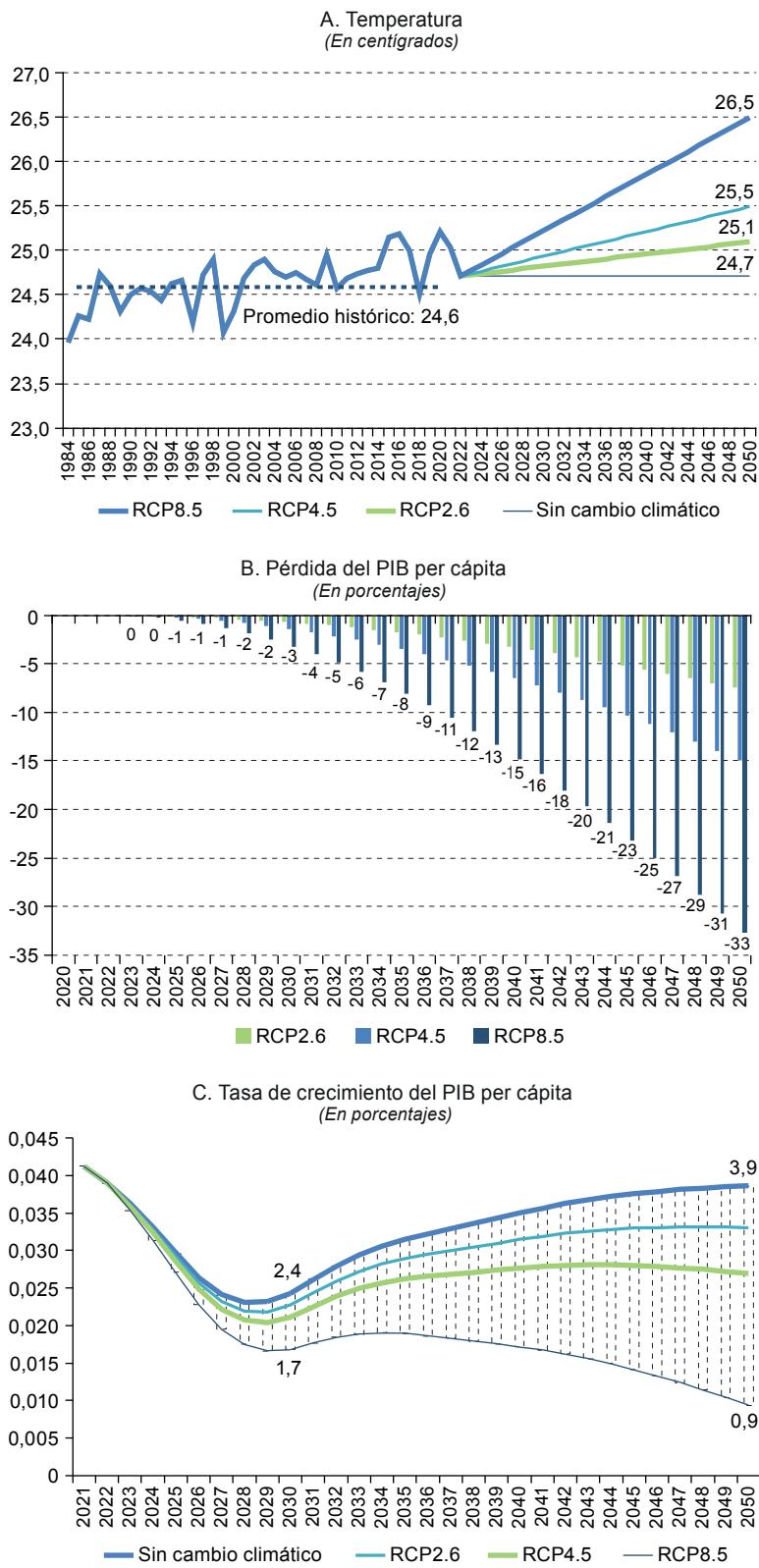
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

4. Honduras

En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +1.9 °C que experimentaría Honduras produciría que el valor del PIB per cápita sea un 32.6% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 13A y 13B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 3 puntos porcentuales (3.9% vs 0.9%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.2 puntos porcentuales (3.9% vs 2.7%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.6 puntos porcentuales (3.9% vs 3.3%) (véase el gráfico 13C).

Gráfico 13
Honduras: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

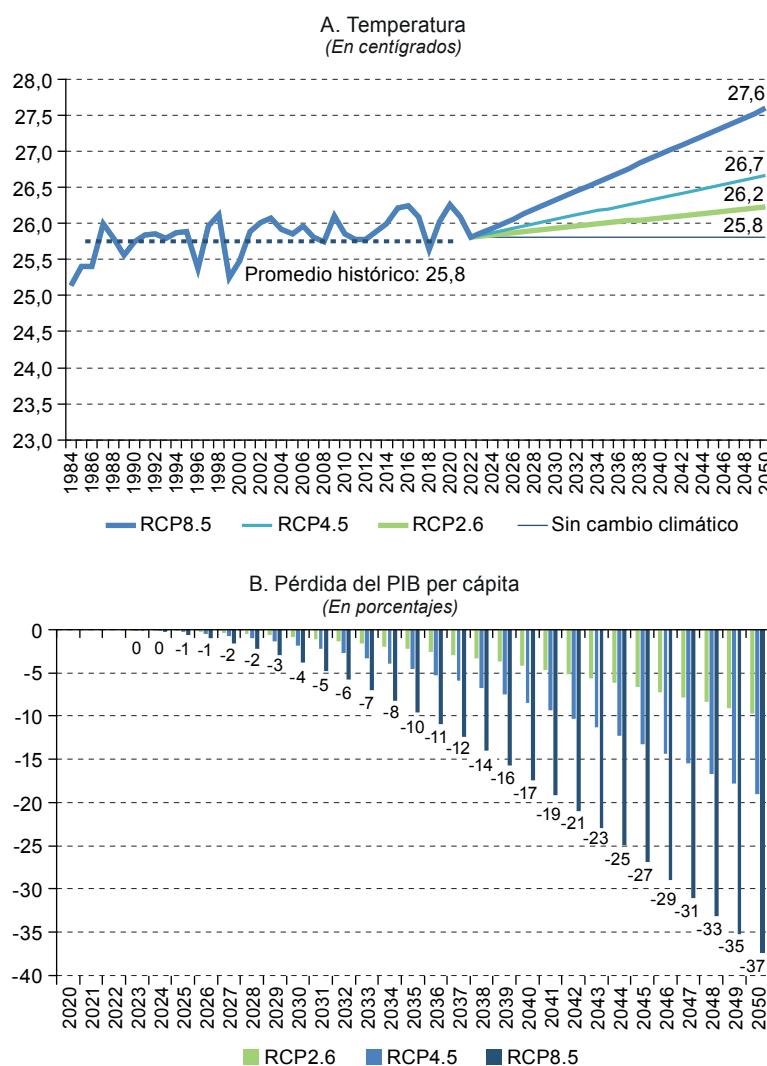
5. Nicaragua

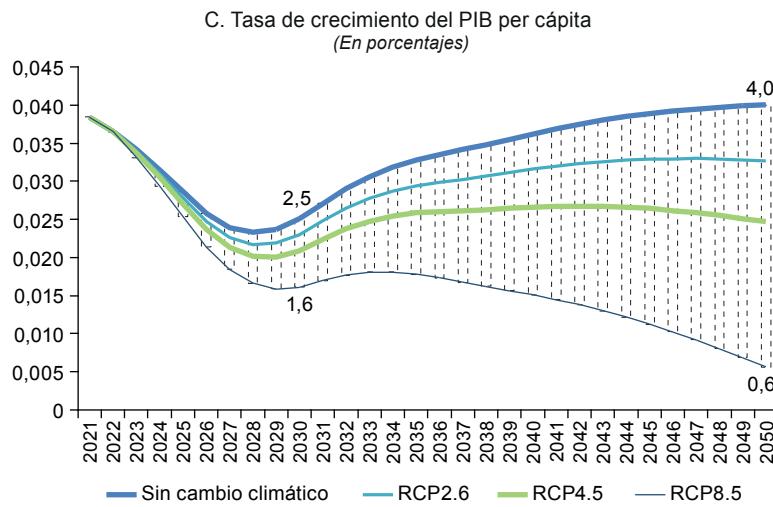
Bajo estos supuestos, Nicaragua registra pérdidas económicas relevantes asociadas al cambio climático dentro de una tendencia compartida a nivel subregional. En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +1.8 °C que experimentaría Nicaragua produciría que el valor del PIB per cápita sea un 37.4% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 14A y 14B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 3.4 puntos porcentuales (4% vs 0.6%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.5 puntos porcentuales (4% vs 2.5%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.7 puntos porcentuales (4% vs 3.3%) (véase el gráfico 14C).

Gráfico 14

Nicaragua: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)





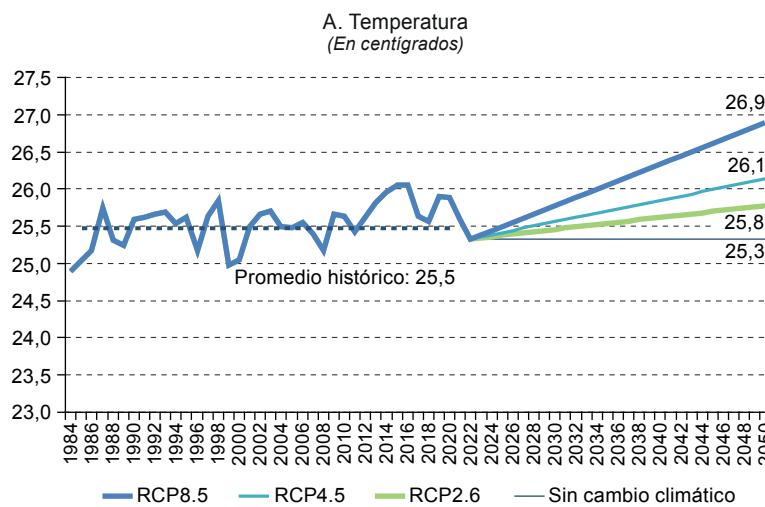
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

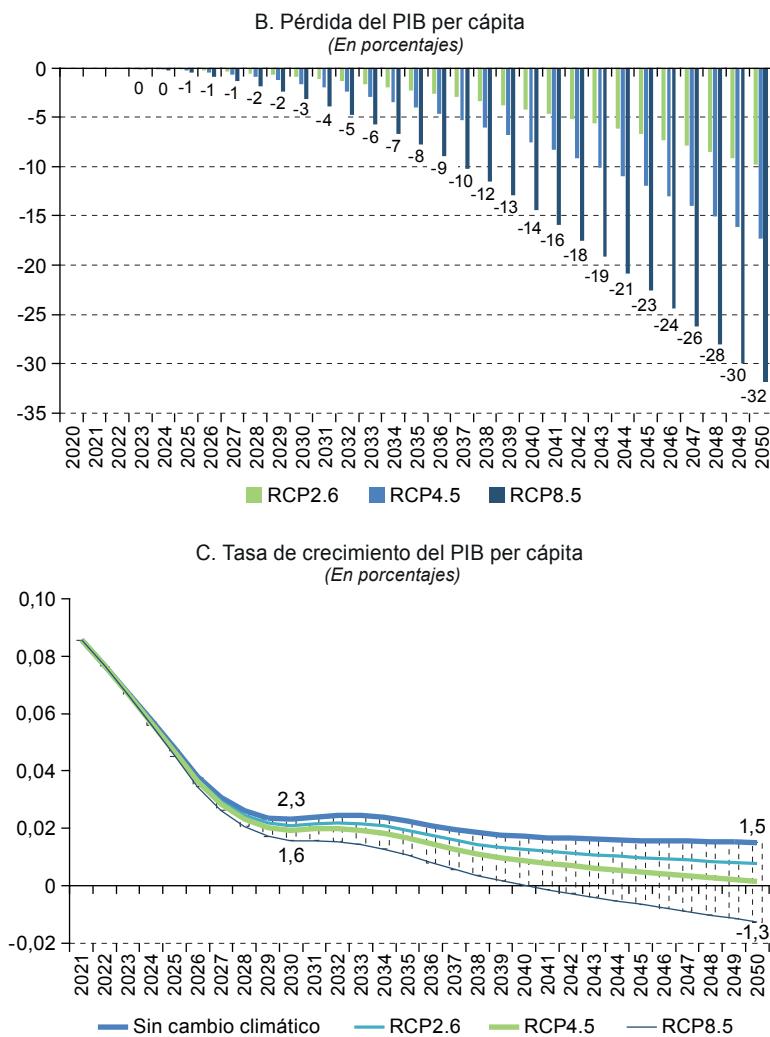
6. Panamá

En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +1.5 °C que experimentaría Panamá produciría que el valor del PIB per cápita sea un 31.9% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 15A y 15B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 2.8 puntos porcentuales (1.5% vs -1.3%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.4 puntos porcentuales (1.5% vs 0.1%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.7 puntos porcentuales (1.5% vs 0.8%) (véase el gráfico 15C).

Gráfico 15
Panamá: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)





Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

Panamá, con su estratégica ubicación geográfica y un papel clave en el comercio global, enfrenta impactos considerables debido al cambio climático. Las proyecciones indican que, sin esfuerzos significativos de mitigación, el incremento de la temperatura para el año 2050 podría generar pérdidas económicas drásticas, reduciendo el PIB per cápita a una fracción de lo que habría sido sin el cambio climático. Además, el aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos representa una amenaza para sectores fundamentales como el comercio, la agricultura y la infraestructura del Canal de Panamá, elemento clave de la economía nacional y global.

En respuesta a estos desafíos, Panamá ha reforzado su compromiso climático mediante la actualización de su NDC y el desarrollo de su Plan Nacional de Acción Climática. El país se ha fijado la meta de alcanzar la carbono-neutralidad para 2050, con compromisos concretos en reducción de emisiones, gestión del agua y restauración de ecosistemas. Además, se ha priorizado la resiliencia climática en comunidades costeras, rurales y urbanas, con especial énfasis en la protección del recurso hídrico, esencial para el funcionamiento del Canal de Panamá. No obstante, los impactos proyectados evidencian la urgencia de fortalecer e implementar estas estrategias para minimizar los riesgos y garantizar un desarrollo sostenible a largo plazo.

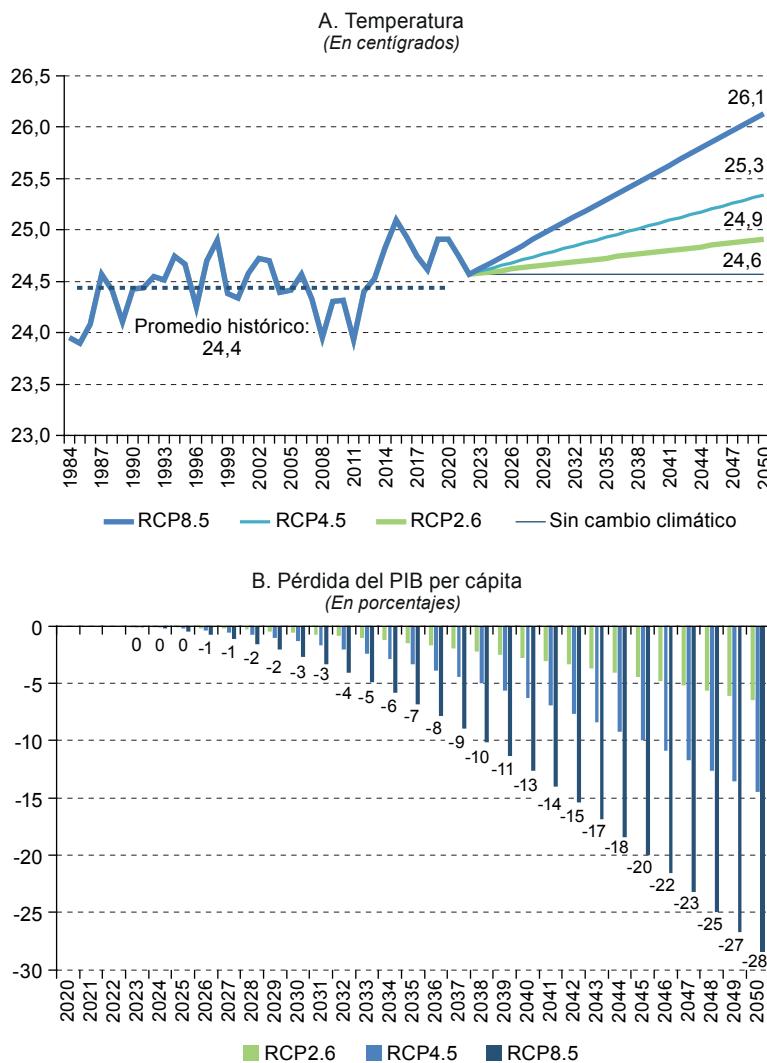
7. República Dominicana

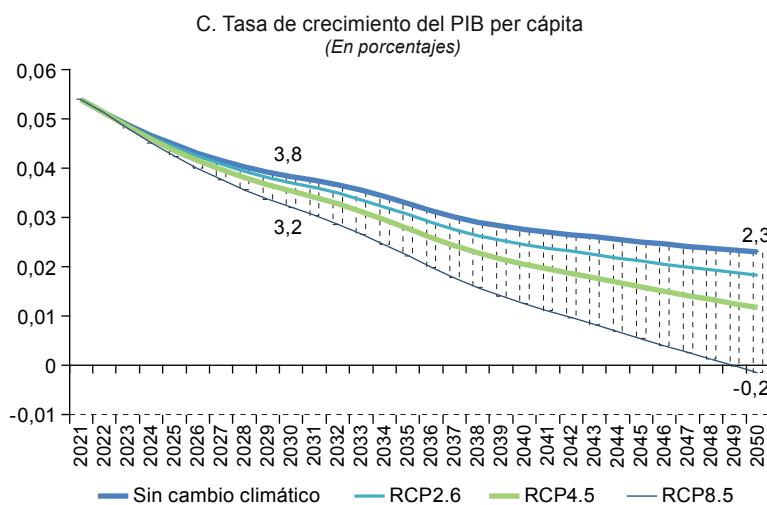
En 2050, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5-RCP 8.5), el aumento de temperaturas de +1.7 °C que experimentaría República Dominicana produciría que el valor del PIB per cápita sea un 28.4% menor de lo que habría sido sin el impacto del cambio climático (véanse los gráficos 16 A y 16B).

En términos de tasas de crecimiento del PIB per cápita, la pérdida en el año 2050 atribuida al cambio climático (SSP5-RCP 8.5) representaría 2.5 puntos porcentuales (2.3% vs -0.2%). Para un escenario en línea con emisiones que se mantienen en torno a los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo (SSP2-RCP 4.5), la pérdida representaría 1.1 puntos porcentuales (2.3% vs 1.2%). Incluso en un escenario de menor calentamiento (SSP1-RCP2.6), la pérdida continúa existiendo, representando 0.5 puntos porcentuales (2.3% vs 1.8%) (véase el gráfico 16 C).

Gráfico 16

República Dominicana: proyecciones de la temperatura promedio subregional, porcentaje de pérdida de PIB per cápita asociados a un escenario sin cambio climático y tasa de crecimiento del PIB per cápita, de acuerdo con escenarios de calentamiento global (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)





Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU-TSv4.05 para datos históricos y la estimación mediana del CMIP6 para proyecciones.

A pesar de los avances en materia de crecimiento económico y reducción de la pobreza, la República Dominicana es considerado un país altamente vulnerable al cambio climático debido a su posición geográfica. En efecto, según el Índice de Vulnerabilidad ante Choques Climáticos (IVACC)¹⁶, publicado en el 2018, se estima que cerca del 30% de los hogares dominicanos presentan un perfil de alta vulnerabilidad ante choques climáticos. Mientras, el 19.5% de los hogares muestran una vulnerabilidad media¹⁷. Adicionalmente, el Banco Mundial (2018) estimó que el promedio anual de pérdidas (AAL, por sus siglas en inglés) por huracanes es de un 0.48% del PIB, equivalente a US\$ 345 millones.

En tal aspecto, ante un escenario de aumentos en la temperatura, así como ante posibles disminuciones en las precipitaciones y aumentos del nivel del mar, el Banco Mundial (2023) plantea ciertas amenazas para el crecimiento económico potencial de mediano y largo plazo del país, entre ellas:

- Probabilidad de que la demanda de agua no sea satisfecha a nivel municipal e industrial, debido a una disminución en las precipitaciones.
- El aumento de la temperatura podría afectar la productividad laboral de los sectores agrícola, industrial y de servicios. Esta disminución en la productividad provocaría, según el Banco Mundial (2023), un impacto en la oferta de mano de obra que oscilaría entre -3.5% y -9.0% hacia el año 2050; estimándose una mayor incidencia en el sector agrícola, seguido de las industrias y el sector servicios. Este factor de suma importancia, dado que, en últimos años se ha observado un detramento en el crecimiento de la productividad laboral del país, causado, en parte, por una baja inversión en capital humano (escasez de trabajadores capacitados y una limitada inversión en educación y capacitación), así como por la disminución de los incentivos a la innovación y a la mejora de la eficiencia.
- Se prevé un aumento de los daños en la infraestructura (capital físico) debido a cambios en la magnitud y frecuencia de las inundaciones y fenómenos climáticos extremos.
- El aumento de la frecuencia y la magnitud de fenómenos climáticos extremos afectará al sector turístico, estimándose una reducción de los ingresos provenientes del turismo equivalente a un 7% y 16% hacia final de siglo.

¹⁶ El Índice de Vulnerabilidad ante Choques Climáticos (IVACC) calcula la probabilidad de que un hogar sea afectado ante la ocurrencia de un fenómeno climático como huracanes, tormentas o inundaciones, dadas las características socioeconómicas y geográficas del hogar. Cuando el índice del IVACC se acerca a 1, significa que los hogares son más vulnerables ante la ocurrencia del fenómeno natural. Esta métrica surge a finales del año 2014, como una iniciativa entre el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Sistema Único de Beneficiarios (SIUBEN) de la República Dominicana. El SIUBEN aplica una encuesta a hogares, que representó el 85.5% de la población en 2015 (8.6 millones de personas).

¹⁷ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente) (2018).

Cabe destacar que la República Dominicana ha mostrado ciertos avances en materia de adaptación ante el cambio climático, entre ellas su compromiso a la aplicación de 37 medidas de adaptación, contempladas en la Contribución Determinada Nacional (CDN), junto con metas de empoderamiento climático y fortalecimiento institucional (Banco Mundial, 2023). Particularmente, en el año 2008, se creó el Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), con el objetivo de articular y aunar esfuerzos desde las diferentes instituciones que integran los sectores de desarrollo del país, para combatir el problema global del cambio climático. Mientras, en el año 2015, se estableció la Política Nacional de Cambio Climático (Decreto 269-15), con el objetivo de gestionar el cambio climático, estando esta política alineada a la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030, con el Plan Nacional Plurianual del Sector Público y con los instrumentos del Sistema Nacional de Planificación. Del mismo modo, en el año 2015, se estableció el Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático 2015-2030 (PNACC RD)¹⁸.

¹⁸ Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático en la República Dominicana 2015-2023 (PNACC RD).

V. Limitaciones del análisis

Este tipo de investigaciones son limitadas por construcción, dado que solamente calculan una dimensión de los potenciales impactos del cambio climático. En este documento se cuantificó el impacto sobre el crecimiento del PIB per cápita del aumento de temperatura bajo diferentes escenarios basados en diferentes trayectorias de desarrollo socioeconómico (SSP) y niveles de forzamiento radiactivo (RCP); no obstante, no se incorporaron los potenciales impactos provenientes de los eventos climáticos extremos más intensos y frecuentes (por ejemplo, inundaciones, olas de calor y sequías) o no lineales, como el colapso de la circulación oceánica o el deshielo masivo de capas de hielo.

Además, se simplificaron las retroalimentaciones complejas del sistema climático, como los impactos indirectos de la pérdida de biodiversidad. Tampoco se capturaron las dinámicas socioeconómicas locales específicas, la adaptación humana espontánea o los cambios tecnológicos disruptivos que podrían alterar significativamente las trayectorias de emisiones, dado que supone que las economías de la región responderán a los cambios de temperatura de forma similar a lo que lo han hecho hasta ahora a lo largo del próximo siglo.

Este supuesto implica que no se darán mejoras sustantivas de la capacidad de adaptación de los países. Adicionalmente, estas proyecciones tampoco incorporan los posibles “puntos de inflexión” (i.e. *tipping points*) que podrían aparecer en los sistemas climáticos (Lenton y otros, 2019). Finalmente, al ser una estimación económrica, el nivel de incertidumbre aumenta significativamente con el período de proyección. Por lo anterior, las proyecciones presentadas deben interpretarse como una orientación sobre la magnitud mínima de pérdidas que cada país podría sufrir ante diversos escenarios de aumento de las temperaturas.

VI. Conclusiones

Este estudio evidencia que el cambio climático representa un riesgo macroeconómico para los países de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPARD). A partir del análisis de datos históricos de temperatura, precipitación y crecimiento económico, y mediante la utilización de métodos econométricos de panel de datos con efectos fijos, se identificó una relación negativa y no lineal entre el aumento de la temperatura y el crecimiento del PIB per cápita. Los resultados muestran que, a medida que la temperatura promedio anual supera ciertos umbrales—estimados entre 16.5 °C y 21.5 °C para los países de la región—, los impactos negativos sobre la actividad económica se amplifican de forma significativa. Estos hallazgos son coherentes con la literatura y refuerzan la evidencia de la elevada vulnerabilidad climática de los países analizados.

La temperatura promedio observada en las últimas décadas ya supera los niveles óptimos estimados para el crecimiento económico, lo cual implica que los países de la subregión se encuentran actualmente en una trayectoria en la que futuros aumentos de temperatura seguirán teniendo efectos adversos sobre su desempeño económico. Adicionalmente, el análisis de persistencia de los impactos revela que los efectos de las variaciones climáticas no se limitan a pérdidas transitorias en el nivel de actividad, sino que afectan de manera duradera la capacidad de crecimiento económico, lo que sugiere la presencia de impactos estructurales a largo plazo.

Las proyecciones realizadas en el documento estiman pérdidas del PIB per cápita en todos los países de la región y bajo todos los escenarios climáticos. Bajo un horizonte temporal de mediano plazo y un escenario climático de altas emisiones, un incremento de temperatura entre 1.4 °C y 2.2 °C, generaría una pérdida de PIB per cápita estimada de entre 28% a 37%, a materializarse a 2050. Costa Rica podría registrar una reducción del 31% en su PIB per cápita en ausencia de medidas de mitigación, mientras que, para El Salvador la pérdida proyectada sería del 36%, para Guatemala del 30%, en Honduras del 33%, en Nicaragua del 37%, en Panamá del 32%, y, en la República Dominicana del 28%. Incluso en horizontes temporales más cercanos, incrementos de temperatura de entre 0.3 °C y 0.8 °C, generaría pérdidas de PIB per cápita estimadas entre 2.7% y 3.8%, materializándose en 2030, dependiendo del país de la región CAPARD que se considere.

Estos resultados reflejan que la economía de los países considerados se reduciría en casi un tercio producto del cambio climático a mediados de siglo y que el cambio climático podría llevar a una reducción del nivel de vida tan severa que, en promedio, las personas en la región tendrían apenas entre el 1.5% y el 5% del ingreso per cápita que habrían alcanzado en ausencia del calentamiento global para fin de siglo.

Cuadro 14
Resumen de resultados a nivel país bajo diversos horizontes temporales

País	2030		2050		2100	
	Aumento de temperatura (En grados Celsius)	Pérdida PIB per cápita (En porcentajes)	Aumento de temperatura (En grados Celsius)	Pérdida PIB per cápita (En porcentajes)	Aumento de temperatura (En grados Celsius)	Pérdida PIB per cápita (En porcentajes)
Costa Rica	0,4	-3,0	1,6	-30,9	4,6	-96,7
El Salvador	0,7	-3,6	2,0	-35,6	5,2	-98,2
Guatemala	0,8	-2,8	2,2	-29,6	5,5	-96,5
Honduras	0,6	-3,2	1,9	-32,6	5,1	-97,4
Nicaragua	0,5	-3,8	1,8	-37,4	5,0	-98,5
Panamá	0,3	-3,1	1,4	-31,9	4,2	-96,7
República Dominicana	0,6	-2,7	1,7	-28,4	4,5	-95,2

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El incremento de temperatura se relaciona con los datos climáticos proyectados bajo el escenario RCP 5-8.5 respecto a la temperatura promedio histórica 1984-2014 (modelo CRU). La pérdida de PIB per cápita se relaciona con la pérdida del PIB per cápita respecto a un escenario sin el cambio climático a los horizontes temporales correspondientes. Los valores se corresponden con aquellos obtenidos bajo el escenario climático RCP 5-8.5.

Si bien la totalidad de los países analizados presentan alta vulnerabilidad al cambio climático, la magnitud de las pérdidas esperadas varía entre ellos. Nicaragua, El Salvador, Honduras y Guatemala figuran entre los más afectados, mientras que, países como Costa Rica, República Dominicana y Panamá presentan pérdidas también severas, pero levemente inferiores. Esta heterogeneidad refleja diferencias en la exposición climática, en la estructura económica, en los niveles de desarrollo y en la capacidad institucional de respuesta de cada país.

El análisis realizado refuerza la necesidad de integrar el riesgo climático en la formulación de políticas macroeconómicas, fiscales y de desarrollo. La adaptación al cambio climático debe convertirse en un eje central de la estrategia económica de la región, a través del fortalecimiento de la resiliencia, la diversificación de las bases productivas, la reducción de la dependencia de sectores altamente sensibles al clima, y la promoción de inversiones en infraestructura adaptada a los nuevos riesgos climáticos. Asimismo, es esencial desarrollar instrumentos de financiamiento climático que permitan apoyar los esfuerzos de adaptación y mitigación, especialmente en los países más vulnerables.

Finalmente, si bien este estudio representa un avance en la cuantificación de los impactos del cambio climático en la subregión CAPARD, aún persisten desafíos importantes en términos de mejorar la resolución espacial de los datos climáticos, de analizar los impactos diferenciados por sector económico, y de incorporar dinámicas de adaptación endógena en los modelos de estimación. Estos desafíos constituyen oportunidades para futuras líneas de investigación que permitan seguir fortaleciendo la base de evidencia empírica necesaria para diseñar políticas públicas efectivas frente al cambio climático.

Bibliografía

- Auffhammer, M. (2018), «Quantifying Economic Damages from Climate Change», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 32, No. 4, 1 de noviembre.
- Banco Mundial (2018), «Country Disaster Risk Profile: Dominican Republic Hurricanes and Earthquakes Risk Profile», https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Final_CDRP_DR-eng.pdf
- Banco Mundial (2023), «Informe sobre Clima y Desarrollo del País», Washington, DC, <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/c62adobf-1775-4cd6-845d-aaf4976deoaa/content>
- Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. (2015), «Global non-linear effect of temperature on economic production», *Nature*, vol. 527, No. 7577, Nature Publishing Group, noviembre.
- Burke, M. & Tanutama, V. (2019), «Climatic Constraints on Aggregate Economic Output». Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta: 25779.
- Castellanos (2022), «Chapter 12: Central and South America», [en línea] <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-12/>> [fecha de consulta: 14 de octubre de 2024].
- CEPAL (2021a), Soluciones basadas en la naturaleza: el potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica (journal Abbreviation: Soluciones basadas en la naturaleza: el potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica), Comisión Económica para América Latina y el Caribe, diciembre.
- CEPAL (2021b), «Evaluación de los efectos e impactos causados por la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras», CEPAL.
- CEPAL, C. E. para A. L. y el (2023), Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe: una perspectiva empírica (journal Abbreviation: Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe: una perspectiva empírica), Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Dasgupta, S. y otros (2021), «Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study», *The Lancet Planetary Health*, vol. 5, No. 7, Elsevier, 1 de julio.
- Dave, R., Subramanian, S. S. & Bhatia, U. (2021), «Extreme precipitation induced concurrent events trigger prolonged disruptions in regional road networks», *Environmental Research Letters*, vol. 16, No. 10, IOP Publishing, octubre.
- Davenport, F. V., Burke, M. & Diffenbaugh, N. S. (2021), «Contribution of historical precipitation change to US flood damages», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 118, No. 4, 26 de enero.
- Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A. (2009), «Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates», *American Economic Review*, vol. 99, No. 2, mayo.

- Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A. (2012), «Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century», *American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 4, No. 3, julio.
- Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A. (2014), «What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature», *Journal of Economic Literature*, vol. 52, No. 3, septiembre.
- Desbureaux, S. & Rodella, A.-S. (2019), «Drought in the city: The economic impact of water scarcity in Latin American metropolitan areas», *World Development*, vol. 114, 1 de febrero.
- Deschênes, O. & Greenstone, M. (2007), «The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather», *American Economic Review*, vol. 97, No. 1, marzo.
- Eyring, V. y otros (2016), «Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization», *Geoscientific Model Development*, vol. 9, No. 5, Copernicus GmbH, 26 de mayo.
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2013). The Next Generation of the Penn World Table (NBER Working Paper No. 19255). National Bureau of Economic Research.
- García-León, D. (2015), «Weather and Income: Lessons from the Main European Regions», *Climate Change and Sustainable Development, Climate Change and Sustainable Development*, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), 5 de mayo.
- Gortan, M. y otros (2024), «A unified dataset for pre-processed climate indicators weighted by gridded economic activity», *Scientific Data*, vol. 11, No. 1, Nature Publishing Group, 24 de mayo.
- Harris, I. y otros (2020), «Version 4 of the CRUTS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset», *Scientific Data*, vol. 7, No. 1, Nature Publishing Group, 3 de abril.
- Hsiang, S. (2016), «Climate Econometrics», *Annual Review of Resource Economics*, vol. 8, No. 1, Annual Reviews.
- Ishizawa, Oscar A.; Miranda, Juan Jose (2016), «Open Knowledge Repository», [en línea] <<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/91657f10-3530-56c4-9999-cc295fc2fc2d2>> [fecha de consulta: 14 de octubre de 2024].
- Joshua Graff Zivin (2014), «Temperature and the Allocation of Time: Implications for Climate Change | Journal of Labor Economics: Vol 32, No 1», [en línea] <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/671766>> [fecha de consulta: 1 de noviembre de 2024].
- Kahn (2019), «Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis», IMF, [en línea] <<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/10/11/Long-Term-Macroeconomic-Effects-of-Climate-Change-A-Cross-Country-Analysis-48691>> [fecha de consulta: 4 de noviembre de 2024].
- Kalkuhl, M. & Wenz, L. (2020), «The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions», *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 103, 1 de septiembre.
- Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L. (2024), «The economic commitment of climate change», *Nature*, vol. 628, No. 8008.
- Nature PublisLenton, T. M. y otros (2019), «Climate tipping points — too risky to bet against», *Nature*, vol. 575, No. 7784 (Bandiera_abtest: aCg_type: Commentpublisher: Nature Publishing GroupSubject_term: Climate change, Climate sciences, Environmental sciences, Policy), noviembre. Publicación de las Naciones Unidas, No. de venta: 575.
- OECD (2024), *Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries in 2013-2022*, Climate Finance and the USD 100 Billion Goal, OECD.
- O'Neill, B. C. y otros (2016), «The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6», *Geoscientific Model Development*, vol. 9, No. 9, Copernicus GmbH, 28 de septiembre.
- Reyer, C. P. O. y otros (2017), «Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development», *Regional Environmental Change*, vol. 17, No. 6, 1 de agosto.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente) (2018), «Índice de Vulnerabilidad ante Choques Climáticos: Lecciones Aprendidas y Sistematización del Proceso y Aplicación del IVACC en República Dominicana». Ciudad de Panamá: Panamá. <https://www.undp.org/es/dominican-republic/publicaciones/indice-de-vulnerabilidad-ante-choques-climaticos>
- Schlenker (2009), «Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change | PNAS», [en línea] <<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0906865106>> [fecha de consulta: 1 de noviembre de 2024].

- Titelman (2023), «Economic and Fiscal Implications of Climate Change for Vulnerable Countries in Central America and the Caribbean | Global Development Policy Center», [en línea] <<https://www.bu.edu/gdp/2023/11/27/economic-and-fiscal-implications-of-climate-change-for-vulnerable-countries-in-central-america-and-the-caribbean/>> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2024].
- WEF (2024), «Riesgos Globales 2024: 3 riesgos de los que no se habla lo suficiente», Foro Económico Mundial, [en línea] <<https://es.weforum.org/agenda/2024/02/riesgos-globales-2024-3-riesgos-de-los-que-no-hablamos-lo-suficiente/>> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2024].
- WMO (2024), «State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2023», [en línea] <<https://library.wmo.int/records/item/68891-state-of-the-climate-in-latin-america-and-the-caribbean-2023>> [fecha de consulta: 21 de septiembre de 2024].
- Xue, T. y otros (2019), «Declines in mental health associated with air pollution and temperature variability in China», *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, Nature Publishing Group, 15 de mayo.
- Zhang, P. y otros (2018), «A stratospheric pathway linking a colder Siberia to Barents-Kara Sea sea ice loss», *Science Advances*, vol. 4, No. 7, 6 de julio.

Anexo A1

Cuadro A1.1
Serie y fuente de datos

Variable	Serie	Fuente
PIB per cápita histórico	PIB per cápita por el lado del gasto	Penn World Table (https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en) del Feenstra, Robert C., Robert Inklaar and Marcel P. Timmer (2015), "The Next Generation of the Penn World Table" American Economic Review, 105(10), 3150-3182
	PIB per cápita por el lado del producto	
	PIB per cápita por el lado de cuentas nacionales	
	PIB per cápita del WDI (1950-2023)	World Development Indicators (WDI) (https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators) del Banco Mundial.
Temperatura y precipitaciones históricas	Temperatura promedio anual (°C)	World Bank, Climate Change Knowledge Portal, 2024 (https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data#htab-1497)
	Precipitaciones totales anuales (mm)	
	Modelo CRU (1984-2022)	
PIB per cápita proyectado	GDP PPP [per capita]	OECD ENV-Growth, 2023 (https://data.ece.iiasa.ac.at/ssp/#/workspaces)
	Escenario SSP2 (2020 – 2100)	
Temperatura proyectada	Temperatura promedio anual (°C)	World Bank, Climate Change Knowledge Portal, 2024 (https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data#htab-1497)
	Modelo CMIP6-x0.5 (2015-2100)	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A1.2
Valores de temperatura bajo escenarios de proyecciones climáticas

Clima	Variables	Costa Rica	República Dominicana	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	El Salvador
Histórico	Temperatura promedio histórica 1984-2014 (CRU) ^a	24,75	24,42	23,47	24,58	25,78	25,48	25,08
Proyectado SSP1-2.6	Incremento de temperatura a 2100 ^b	1,10	1,10	1,30	1,20	1,20	1,10	1,30
	Temperatura a 2100	25,85	25,52	24,77	25,78	26,98	26,58	26,38
	Temperatura 2022 ^c	24,64	24,57	23,77	24,71	25,81	25,33	25,23
	Incremento de temperatura anual a 2100	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
SSP2-4.5	Incremento de temperatura a 2100	2,20	2,30	2,50	2,30	2,40	2,10	2,50
	Temperatura a 2100	26,95	26,72	25,97	26,88	28,18	27,58	27,58
	Temperatura 2022	24,64	24,57	23,77	24,71	25,81	25,33	25,23
	Incremento de temperatura anual a 2100	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
SSP5-8.5	Incremento de temperatura a 2100	4,60	4,50	5,50	5,10	5,00	4,20	5,20
	Temperatura a 2100	29,35	28,92	28,97	29,68	30,78	29,68	30,28
	Temperatura 2022	24,64	24,57	23,77	24,71	25,81	25,33	25,23
	Incremento de temperatura anual a 2100	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06

Fuente: World Bank, Climate Change Knowledge Portal (2024).

^a Los datos se corresponden con el modelo CRU.

^b Los datos de incremento de temperatura a 2100 se corresponden al incremento entre la temperatura promedio histórica 1984-2014 (bajo el modelo CMIP6-x0.25) y la temperatura del 2100 bajo el modelo CMIP6-x0.25. Todos los datos se encuentran expresados en grados centígrados.

^c Temperatura del año 2022 se considera la temperatura base de referencia para el cálculo del incremento.

Cuadro A1.3
Valores de impactos económicos bajo escenarios de proyecciones climáticas
(En porcentaje o puntos porcentuales)

Economía	Variables	Costa Rica	República Dominicana	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá	El Salvador
Histórico	Tasa de crecimiento PIB per cápita anual promedio (1984-2014)	2,0%	2,9%	0,8%	1,0%	2,0%	2,7%	1,3%
Proyectado	Sin cambio climático	Tasa de crecimiento PIB per cápita anual promedio (2021-2100)	2,1%	2,4%	2,5%	3,3%	3,4%	1,9%
		Tasa de crecimiento PIB per cápita anual a 2100	1,1%	1,4%	1,8%	2,5%	2,5%	1,2%
	SSP1-2.6	Tasa de crecimiento PIB per cápita anual promedio (2021-2100)	1,2%	1,7%	1,9%	2,5%	2,4%	0,9%
		Pérdida de PIB per cápita anual promedio (2021-2100) (p.p.)	0,89	0,68	0,61	0,79	1,04	1,04
		Tasa de crecimiento PIB per cápita anual a 2100	-0,8%	0,0%	0,5%	0,8%	0,4%	-0,9%
		Pérdida de PIB per cápita a 2100 (p.p.)	1,86	1,41	1,29	1,66	2,16	2,17
	SSP2-4.5	Tasa de crecimiento PIB per cápita anual promedio (2021-2100)	0,3%	0,7%	1,0%	1,6%	1,2%	-0,1%
		Pérdida de PIB per cápita anual promedio (2021-2100) (p.p.)	1,81	1,65	1,47	1,71	2,23	1,97
		Tasa de crecimiento PIB per cápita anual a 2100	-2,8%	-2,1%	-1,4%	-1,2%	-2,2%	-3,0%
		Pérdida de PIB per cápita a 2100 (p.p.)	3,90	3,55	3,18	3,67	4,76	4,20
	SSP5-8.5	Pérdida de PIB per cápita anual promedio (2021-2100) (p.p.)	4,19%	3,76%	4,15%	4,53%	5,24%	4,21%
		Tasa de crecimiento PIB per cápita anual promedio (2021-2100)	-2,1%	-1,4%	-1,6%	-1,2%	-1,8%	-2,3%
		Tasa de crecimiento PIB per cápita anual a 2100	-8,4%	-7,0%	-7,8%	-7,8%	-9,2%	-8,1%
		Pérdida de PIB per cápita a 2100 (p.p.)	9,45	8,44	9,58	10,25	11,68	9,33
								11,15

Fuente: Elaboración propia.

En este documento se analiza el impacto económico histórico y proyectado a 2050 del cambio climático en Centroamérica, Panamá y la República Dominicana. Se estima una función de daño que relaciona variaciones en temperatura y precipitaciones con el crecimiento del PIB per cápita. Los resultados muestran una relación no lineal significativa entre temperatura y crecimiento económico. Las proyecciones señalan pérdidas del PIB per cápita para todos los países del área y escenarios climáticos considerados. En un escenario de altas emisiones, las pérdidas de PIB per cápita estimadas se sitúan entre el 28% y 37%, en comparación con un escenario sin cambio climático a 2050. Este análisis contribuye al diseño de estrategias informadas para la reducción de vulnerabilidades, la promoción de políticas de adaptación y el fortalecimiento de la resiliencia macroeconómica en el área analizada.

