

DOCUMENTOS DE **PROYECTOS**

Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe

Una perspectiva empírica

Rafael Van der Borght
Joseluis Samaniego
Luis Miguel Galindo
José Eduardo Alatorre



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



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



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe

Una perspectiva empírica

Rafael Van der Borght
Joseluis Samaniego
Luis Miguel Galindo
José Eduardo Alatorre



Este documento fue preparado por Joseluis Samaniego, entonces Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), José Eduardo Alatorre, Oficial de Asuntos Económicos de dicha División, Rafael Van der Borght y Luis Miguel Galindo, Consultores de la misma División, en el marco del apoyo a las actividades de la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC) implementadas entre el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España y la CEPAL.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos, enlaces o marcadores a sitios externos incluidos en esta publicación, ni por las menciones de sociedades mercantiles o nombres comerciales de productos y servicios, y no deberá entenderse que existe adhesión a sitios, su contenido, sus responsables ni a los productos o servicios que se mencionen u ofrezcan.

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 la Organización o las de los países que representa, con las del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ni con las de la RIOCC.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2023/83
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2023
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.23-00277

Esta publicación debe citarse como: R. Van der Borght y otros, "Los efectos del cambio climático en la actividad económica de América Latina y el Caribe: una perspectiva empírica", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2023/83), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

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	5
Introducción	7
I. Revisión de la literatura	11
II. El clima en América Latina y el Caribe y su evolución durante los últimos 60 años	13
III. Modelo econométrico	19
IV. Resultados empíricos	23
A. Análisis a nivel de ciudad con luces nocturnas	29
V. Proyecciones del impacto económico potencial del alza de temperaturas	33
VI. Consideraciones finales	37
Bibliografía	39
Anexos	43
Anexo 1	44
Anexo 2	46
Anexo 3	51
 Cuadros	
Cuadro 1 Principales resultados econométricos.....	24
Cuadro 2 Resultados de la estimación del modelo con rezagos de temperatura e ilustración gráfica	26
Cuadro 3 Regresiones de largo plazo	28

Cuadro A1	Resumen estadístico de las variables de interés	44
Cuadro A2	Desviación del PIB en 2099 por SSP vs un escenario sin aumento de las temperaturas.....	45
Cuadro A3	Pruebas de robustez a elección de efectos fijos, omisión de países y variabilidad interanual	47
Cuadro A4	Pruebas de robustez con datos climáticos promediados por áreas geográficas	48
Cuadro A5	Heterogeneidad de impactos en base a la vulnerabilidad o la temperatura de los países.....	49
Cuadro A6	Resultados de las estimaciones por períodos separados	50
Cuadro A7	Relación PIB VS NTL urbanos en ALC, 2013-2021.....	52
Cuadro A8	Resultados de las regresiones principales	54
Cuadro A9	Resultados de las regresiones dinámica.....	54

Gráficos

Gráfico 1	Relación entre temperatura, (promedio 1961-1990 en centígrados) y PIB per cápita (promedio 2010-2015, en logaritmos)	8
Gráfico 2	Aumento promedio anual de la temperatura por país, 1970-2020	15
Gráfico 3	PIB predicho en base a las luces nocturnas VIIRS y PIB de países ALC, 2013-2020.....	16
Gráfico 4	Distribución de las temperaturas en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020 y precipitaciones en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020	16
Gráfico 5	Probabilidad de anomalías de temperatura y anomalías de precipitaciones.....	17
Gráfico 6	Efectos de crecimiento vs. efectos de nivel asociados a las desviaciones climáticas.....	21
Gráfico 7	Heterogeneidad del impacto de un aumento de las temperaturas en base a la vulnerabilidad de los países	25
Gráfico 8	Estimación de los efectos marginales de la temperatura en cada periodo climático... ..	28
Gráfico 9	Impacto a largo plazo de las temperaturas sobre el desempeño económico	29
Gráfico 10	Impacto dinámico de las temperaturas y precipitaciones en las luces nocturnas urbanas.....	30
Gráfico 11	Evolución histórica y proyectada de la temperatura regional de acuerdo a varios SSP	34
Gráfico 12	Desviación del PIB regional vs. un escenario sin cambio climático	35
Gráfico A1	Distribución de temperaturas y Z scores de precipitaciones en ALC a nivel de ciudad/trimestre, 2013-2021	53

Mapas

Mapa 1	Las ciudades según el "grado de urbanización" vs. los límites administrativos	18
Mapa 2	Desviación del PIB de los países de ALC en 2099 en el escenario SSP5.85 vs. escenario sin cambio climático	36
Mapa A1	Sobre NTL en ciudades para la región ALC.....	51

Resumen

Este informe utiliza las fluctuaciones históricas de la temperatura y de las precipitaciones en 33 países de América Latina y el Caribe con el fin de identificar sus efectos causales sobre el desempeño económico. Para ello se recurre a modelos de panel con efectos fijos calibrados para el periodo 1970-2020. Los resultados indican que, en promedio, para los países de América Latina y el Caribe, un aumento de 1°C en la temperatura media anual disminuye la tasa de crecimiento del PIB/cápita en 1,06 puntos porcentuales (p.p.). Las estimaciones también evidencian que los efectos adversos de un incremento de las temperaturas en un año dado persisten el año siguiente y no se revierten en el medio plazo, sugiriendo una intensificación de estos impactos en escenarios de aumentos continuos de las temperaturas. Además, no se encontró evidencia de que la respuesta del PIB a la variación de las temperaturas se haya modificado sustancialmente desde los años 1970. Por otro lado, el informe examina estos impactos a nivel de ciudad usando datos trimestrales provenientes de luces nocturnas captadas mediante satélites (NTL-VIIRS) y comprueba la existencia de efectos adversos asociados al alza de temperaturas. Esto confirma i) que el impacto de las temperaturas no se limita al sector agrícola, sino que afectan al conjunto del sistema productivo, y ii) que puede materializarse mediante shocks repentinos asociados a eventos climáticos extremos y no solo un aumento tendencial de las temperaturas. Finalmente, el informe proyecta las pérdidas potenciales asociadas a diversos escenarios de alza de temperaturas y pone de manifiesto cómo una ambiciosa acción climática a nivel global podría dividir entre 4 las pérdidas potenciales para la región al 2100. Estas proyecciones no tienen que ser interpretadas como una predicción de lo que serán los efectos económicos del cambio climático ya que usan únicamente la relación PIB-temperatura y excluyen el conjunto de efectos asociados a, por ejemplo, eventos climáticos extremos, subida del nivel del mar, pérdidas de biodiversidad o *tipping points* climáticos que, en su conjunto, cambiarán radicalmente la magnitud de los impactos aquí presentados.

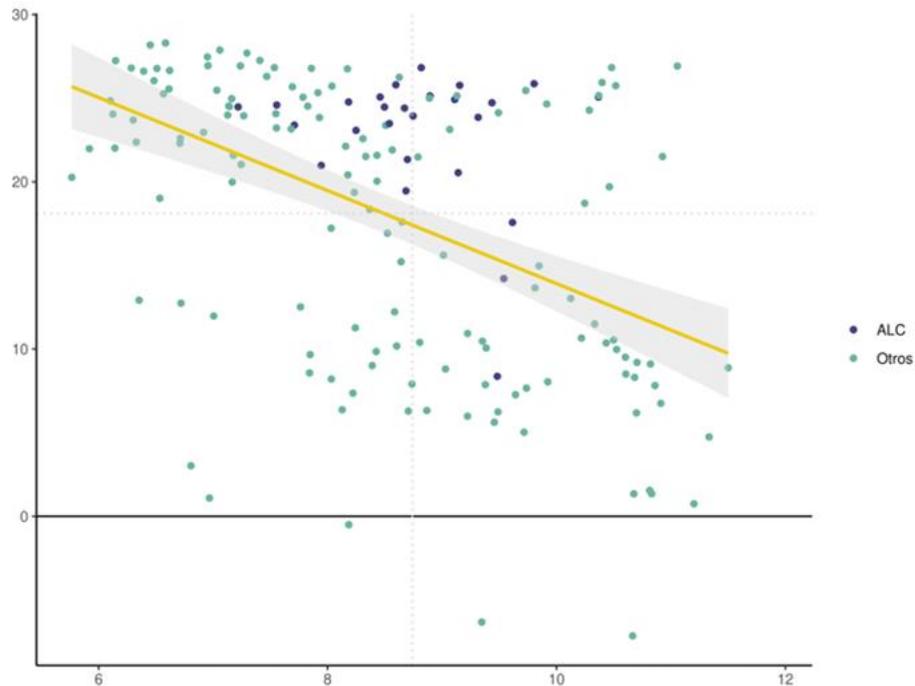
Introducción

El efecto de las temperaturas sobre el desarrollo económico ha sido tema de debates intensos desde hace varios siglos. Ya durante la Ilustración, Montesquieu en *El espíritu de las leyes* (1748) argumentaba que un "exceso de calor" volvía a los hombres "perezosos y desanimados"¹. En América Latina y el Caribe, el exceso de calor ha sido frecuentemente asociado a episodios mortíferos y autores como Gabriel García Márquez han descrito estos momentos de la siguiente manera: "ese mediodía hubo tanto calor que los pájaros desorientados se estrellaban como perdigones contra las paredes y rompían las mallas metálicas de las ventanas para morir en los dormitorios"². Más cerca de nosotros, varios economistas han subrayado que los países más calientes tienden a ser más pobres (e.g., Sachs and Warner 1997; Nordhaus 2006). De hecho, a nivel mundial, la figura 1 señala cómo los países con niveles de temperatura por encima del promedio mundial tienden a tener niveles de PIB/cápita más bajos (i.e. se concentran en el cuadrante superior izquierdo), mientras que la mayoría de los países con temperatura por debajo del promedio mundial han alcanzado niveles de PIB/cápita superiores al promedio de la muestra (i.e. están en el cuadrante inferior derecho). La asociación negativa del gráfico 1 sugiere que, en promedio, el ingreso per cápita cae en un 7,8% por cada grado adicional en la temperatura promedio. Sin embargo, esta correlación no implica causalidad y varios autores han demostrado que esta resulta de una asociación espurria entre temperaturas y otras características nacionales como, por ejemplo, la capacidad institucional (e.g., Acemoglu, Johnson, and Robinson 2001, 2002; Rodrik, Subramanian, and Trebbi 2004). Esta literatura pone de relieve que, si bien pueden existir correlaciones entre clima y desempeño económico, los datos de sección cruzada no permiten aislar los efectos causales de las variables climáticas de las muchas otras características potencialmente correlacionadas con el clima.

¹ Sacado de Dell et al. (2012).

² En *Cien años de soledad* 7.

Gráfico 1
Relación entre temperatura, (promedio 1961-1990 en centígrados) y PIB per cápita
(promedio 2010-2015, en logaritmos)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de WDI y CRU.

Nota: Las líneas grises discontinuas indican el valor promedio de la variable en la muestra de 164 países.

A inicios del siglo XXI, este debate ha recobrado relevancia en el marco del análisis de los impactos económicos del cambio climático. Uno de los efectos principales del cambio climático es el aumento de las temperaturas mundiales y es, de hecho, el objetivo primordial del Acuerdo de París sobre el Clima: limitar el aumento de las temperaturas mundiales “muy por debajo de los 2°C” con respecto a los niveles preindustriales. En este sentido, varios estudios recientes procedentes de la literatura de la Nueva Economía Climática (NEC) han demostrado cómo el aumento de las temperaturas puede afectar no solo a sectores sensibles al clima como la agricultura sino a la economía en su conjunto (ver Dell, et al., 2014 para una revisión comprehensiva de esta literatura y la sección siguiente para un resumen del enfoque metodológico). La Nueva Economía Climática ofrece un marco robusto para cuantificar el impacto causal de la variación de temperaturas en la actividad económica, fundamentando sus análisis en modelos de panel con efectos fijos calibrados mediante una amplia cantidad de datos. Adicionalmente, la NEC recurre a fuente de datos no convencionales para identificar impactos en zonas geográficas específicas en regiones con información limitada o de baja calidad. Las luces nocturnas captadas mediante imágenes satelitales han sido por ejemplo frecuentemente usada como variable complementaria o sustitutiva de la renta per cápita (Henderson, Storeygard y Weil 2011, 2012) o para identificar efectos específicos asociados a eventos climáticos extremos (Hsiang y Jina, 2014). En su conjunto, estos avances metodológicos han propiciado un mejor entendimiento de los impactos causales del clima sobre la actividad económica a nivel global. Sin embargo, aún existe una importante incertidumbre sobre la magnitud de estos efectos para América Latina y el Caribe, la heterogeneidad de impactos a nivel local, así como la relevancia de los procesos de adaptación. Mejorar el entendimiento de estas dimensiones a nivel regional resulta de suma importancia para contribuir al diseño de políticas públicas consistentes con el Acuerdo de París.

Retomando el marco teórico de la NEC, este estudio usa las fluctuaciones históricas de la temperatura en los países de la región para identificar sus efectos en los resultados económicos agregados medidos a través del PIB per cápita. Para complementar el análisis, el informe usa luego las luces nocturnas captadas mediante imágenes satelitales para aproximar la actividad económica local y evaluar estos mismos impactos climáticos a nivel de ciudad. Este comprensivo enfoque permite informar sobre el papel de la temperatura en el desarrollo económico y proyectar los potenciales impactos económicos de diversos escenarios de cambio climático para los países de América Latina y el Caribe (ALC). A continuación, el reporte se estructura de la siguiente manera: primero se presenta una revisión de la literatura conocida como Nueva Economía Climática, luego se analiza la evolución histórica de los datos climáticos en los países de ALC desde los años 1960 hasta 2020 y se presenta el modelo econométrico usado para calibrar los impactos históricos de las variaciones de temperaturas sobre la actividad económica. Finalmente, se usan estos resultados empíricos para proyectar los impactos económicos de un alza de las temperaturas en varios escenarios de cambio climático.

I. Revisión de la literatura

Los primeros estudios que han buscado evaluar el impacto del cambio climático en la actividad económica se han enfocado en el sector agropecuario por los vínculos directos que tienen los rendimientos agrícolas con las variables climáticas. Tal como lo ilustra Stern (2007): “la especificación convencional de la identificación de los impactos climáticos sobre la agricultura supone una relación cóncava con los rendimientos, el nivel de producción, o ambos; de este modo, la temperatura o la precipitación estimulan en un inicio el crecimiento de las cosechas para, posteriormente, reducirlo”. La evidencia empírica también ha puesto de manifiesto que existe una relación no lineal entre temperatura y rendimientos agrícolas (Schlenker y Roberts, 2009). Un resumen de los impactos del cambio climático para el sector agrícola en América Latina y el Caribe puede ser encontrado en López-Feldman y Hernández Cortés (2016).

Más allá de los rendimientos agrícolas, estudios más recientes han demostrado que la mayoría de los elementos productivos básicos de la economía muestran una relación no lineal con la temperatura. Existe evidencia empírica de que tanto la oferta de mano de obra (Graff Zivin, Neidell, 2014) como la productividad laboral (Zhang, et al. 2018) disminuyen bruscamente más allá de unos umbrales de temperatura situados entre 20°C y 30°C. Partiendo de estos impactos a nivel micro, un número creciente de estudios ha usado datos de panel con el fin de evidenciar cómo la actividad económica a nivel macro es afectada por la variación de temperaturas. Igualmente, los modelos de panel han sido usados para analizar cómo las variaciones climáticas impactan la desigualdad, la pobreza y la migración (Burke y Tanatama, 2020) o la probabilidad de experimentar conflictos sociales. Los enfoques de panel tienen importantes ventajas sobre las regresiones transversales usadas anteriormente para analizar la relación clima-productividad: no sólo por el tipo de datos utilizados (que varían en el tiempo y el espacio), sino también porque estos enfoques son capaces de controlar el sesgo por variables omitidas, así como las características de los países no observadas e invariables en el tiempo, lo cual resulta mucho más complejo utilizando datos transversales (Deschenes and Greenstone 2007, Hsiang 2016). El marco teórico de esta rama de la literatura, denominada Nueva Economía Climática (NEC), evita los problemas de especificación usuales de los datos cruzados explotando las fluctuaciones aleatorias exógenas de las variables climáticas combinadas con efectos

fijos y representa un marco robusto para identificar impactos causales. Este enfoque metodológico es detallado en Dell et al. (2014) y nos limitamos a continuación a referenciar los resultados más relevantes.

Los análisis existentes sobre los impactos del cambio climático en la actividad económica agregada usando modelos de datos de panel incluyen efectos lineales (Dell et al., 2012) y no lineales (Burke et al., 2015). La presencia de efectos no lineales de las temperaturas sobre el crecimiento económico induce un pico de productividad a una temperatura media anual entre 10° C o 13° C (Burke, et al., 2015, Burke y Tanatama, 2020). En general, los modelos de datos de panel indican que un aumento de la temperatura de 1°C reduce en un 1,3% los ingresos en los países pobres del mundo (Dell, et al., 2012), que un aumento de la temperatura de 1°C implica una reducción de entre el 1,2% y el 1,9% en la tasa de crecimiento municipal per cápita en los países de América Latina (Dell, et al., 2009), que el cambio climático reducirá los ingresos medios mundiales en un 23% en 2100 (Burke, et al., 2015), que el cambio climático reducirá la producción mundial entre un 7% y un 14% en 2100 debido a un aumento de la temperatura de 3,5°C (Kalkuhl y Wenz, 2020), que un aumento anual promedio de la temperatura de 0,04° C inducirá una reducción del PIB mundial per cápita del 7,2% en 2100 (Kahn, et al., 2019). Asimismo, las estimaciones para casos de países específicos indican que un aumento de la temperatura de 1°C conlleva una reducción del 2,5% en la tasa de crecimiento económico de la India (Ansuka et al., 2020) y que un aumento de la temperatura en verano de 1°C reducirá en un 1,2% la tasa de crecimiento anual de la economía estadounidense durante este siglo (Colacito, et al., 2019).

Las estimaciones de los efectos de las precipitaciones en el crecimiento económico son menos concluyentes que los efectos de la temperatura: en los países en desarrollo las precipitaciones tienden a tener un impacto positivo, pero no son necesariamente significativas desde el punto de vista estadístico en los países desarrollados (Kalkuhl y Wenz, 2020, Dell et al., 2012; Burke et al., 2015). Sin embargo, existen cada vez más análisis que evidencia una relación no lineal entre precipitaciones y actividad económica utilizando datos con mayor nivel de desagregación espaciotemporal (Van der Borgh et al. 2021, Damania, et al., 2020). Finalmente, las estimaciones que evalúan de la importancia de la adaptación al cambio climático arrojan resultados similares en la gran mayoría de los estudios que apuntan a progresos muy limitados y/o inexistentes en la capacidad de adaptarse a un nuevo régimen climático (Kalkuhl y Wenz, 2020, Burke y Tanutama, 2020, Dell, et al., 2012). Por lo tanto, los principales resultados de los modelos de datos de panel indican que un aumento de la temperatura de 1°C produce una reducción en la tasa de crecimiento de entre el 1% y el 3%, con diferencias entre regiones, países y sectores y entre patrones lineales y no lineales. Estas estimaciones indican que la adaptación en los últimos años ha sido muy limitada y que los efectos de la temperatura son más fuertes a nivel agregado que los de las precipitaciones.

Finalmente, cabe destacar la creciente rama de la literatura que usa las luces nocturnas captadas mediante imágenes satelitales como un proxy para la actividad económica local. Desde los trabajos de Henderson, Storeygard y Weil (2011, 2012), los economistas utilizan ampliamente estas imágenes de satélite para aproximar el nivel de actividad económica en una zona geográfica determinada. Usando la serie de luces proveniente de un satélite más reciente (i.e. el VIIRS), Chen y Nordhaus (2015) también han evidenciado que la fuerte correlación entre las luces nocturnas y el PIB y la capacidad de usar estas luces para corroborar la densidad económica y poblacional en zonas geográficas con información limitada. Análisis innovadores también ha utilizado la variación de las luces nocturnas para evaluar el impacto económico de eventos climáticos extremos (Elliott et al., 2015; Mohan y Strobl, 2017; Del Valle et al., 2020). Sin embargo, es importante recordar que estas luces nocturnas muestran ciertas limitaciones a la hora de predecir la actividad económica en zonas rurales de baja densidad poblacional y/o en países donde el sector agrícola sigue siendo el sector de mayor arrastre (Bluhm, McCord 2022). De hecho, un análisis comparativo de la serie de luces nocturnas proveniente de los satélites DMSP y VIIRS ha puesto de manifiesto cómo el satélite VIIRS representa un predictor mucho más potente de la actividad económica en zonas urbanas que el DMSP (Gibson et al. 2021).

II. El clima en América Latina y el Caribe y su evolución durante los últimos 60 años

Los datos históricos del clima usados para este estudio provienen del Climate Research Unit CRU TS-V4.05³. Las cuadrículas climáticas (i.e. gridded climate rasters) de esta base de datos proporcionan estimaciones de las temperaturas (cerca de la superficie) y precipitaciones promedio mensuales con una resolución de 0.5 grados (aproximadamente 56 km × 56 km al ecuador). Los valores se interpolan para cada nodo de la cuadrícula a partir de las diferentes estaciones meteorológicas disponibles, corrigiendo por la elevación. Mediante análisis espacial en R, agregamos estos datos a nivel anual y por país para 33 países de región. Siguiendo la práctica usual en la literatura, nuestra especificación principal usa datos climáticos promediados por la población, haciendo uso de la rejilla poblacional del paquete GHS-POP para el año 2015⁴. Para evaluar la sensibilidad de nuestros resultados, también usamos datos de temperatura promediada por área geográfica sin que esto afecte significativamente los resultados. Los datos de desempeño económico son sacados de los World Development Indicators del Banco Mundial para los años 1970-2020 y nos permiten construir un panel no balanceado de 1,630 observaciones. El anexo 1 proporciona un cuadro resumen de las estadísticas de interés.

Antes de analizar el impacto de las variaciones históricas de las temperaturas sobre el crecimiento del PIB, es importante destacar algunos hechos estilizados sobre la evolución del clima en América Latina y el Caribe desde los años 1960. Para ello, cabe recordar que en este artículo el clima no se refiere a las condiciones meteorológicas experimentadas durante un año dado, que, por su naturaleza, son altamente aleatorias. Por su aleatoriedad inherente, las condiciones meteorológicas en un momento dado pueden considerarse como la realización de una distribución de probabilidad. El clima, por su lado, se define como la distribución completa de probabilidad de las estadísticas meteorológicas relevantes (en este caso

³ Estos datos están disponibles en la siguiente página <http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>.

⁴ Estos datos también están disponibles en la siguiente página: https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/ghs_pop2019.php.

las temperaturas y las precipitaciones) durante un periodo mínimo de 30 años⁵. Esto significa que el cambio climático es un cambio de la distribución de probabilidad de las estadísticas meteorológicas medidas durante un periodo de 30 años.

Bajo este marco conceptual, resulta interesante observar cómo la distribución de las temperaturas anuales promediadas por población en ALC se ha modificado entre el periodo 1961-1990 y el periodo 1991-2020. El gráfico 4 revela cómo esta distribución se ha ido desplazando hacia la derecha, con un promedio regional que ha aumentado en 0,5° Celsius (de 22,7 a 23,2). Un T-test permite confirmar que la diferencia entre estos promedios es estadísticamente significativa, confirmando que las temperaturas de la región ya han sido alteradas a lo largo de los últimos 60 años. Por lo contrario, la distribución de las precipitaciones no exhibe cambio significativo a través del tiempo y la diferencia entre los promedios de cada periodo no es estadísticamente significativa.

En cuanto a la variabilidad de las temperaturas dentro de cada país, se observan fuertes fluctuaciones en las temperaturas medias anuales durante el periodo 1961-2020: la diferencia entre la temperatura máxima y mínima dentro de un país es de mínimo 1.5°C (para países como Nicaragua o Santa Lucía) o hasta 2,2°C y 2.3°C (en México y Bahamas respectivamente). Esto implica que la variación max-min dentro de los países es de una magnitud similar a los aumentos de temperatura globales que podrían producirse en el próximo siglo. Finalmente, adoptamos una perspectiva probabilista para entender mejor la probabilidad asociada a una "anomalía" de temperatura o de precipitaciones de cierta magnitud. La anomalía es aquí definida como la diferencia entre la temperatura o las precipitaciones en un año dado y el promedio durante todo el periodo considerado. Al clasificar estas desviaciones climáticas por quintil se observa nuevamente cómo, para la región ALC en su conjunto, la probabilidad de experimentar una anomalía de temperatura de 0.45 es de un 20% (1-0.8) durante el periodo 1991-2020, mientras que era de aproximadamente un 5% (1-0.95) en la primera parte del periodo (ver gráfico 5). Para las precipitaciones, estos cambios solo son significativos para los valores extremos de precipitaciones con por ejemplo niveles excepcionalmente altos de precipitaciones que se vuelven más frecuentes en la segunda parte del periodo, sugiriendo mayor propensión a inundaciones⁶.

Para concluir, teniendo en cuenta la importante heterogeneidad que existe entre los países con respecto a los cambios de temperatura a lo largo del tiempo, estimamos la siguiente regresión para cada país:

$$T_{it} = \sigma_i + \varphi_i t + \mu_i, \text{ con } i = 1, 2, \dots, N = 33 \quad (o)$$

donde T_{it} denota la temperatura media ponderada por la población del país i en el año t . El aumento medio anual de la temperatura para el país i viene dado por φ_i con la correspondiente medida para la región denotada por $\bar{\varphi} = \sum_i^N \frac{\varphi_i}{N}$. Las estimaciones individuales de los φ_i de los países junto con sus intervalos de confianza al 95% se resumen en el gráfico 2. Como puede verse, las estimaciones oscilan entre 0,01 (Surinam) y 0,027 (Brasil) pero son positivas para todos los países y, excepto para Bolivia, significativamente diferentes de 0 al nivel del 5%. El coeficiente promedio regional es de 0.018,

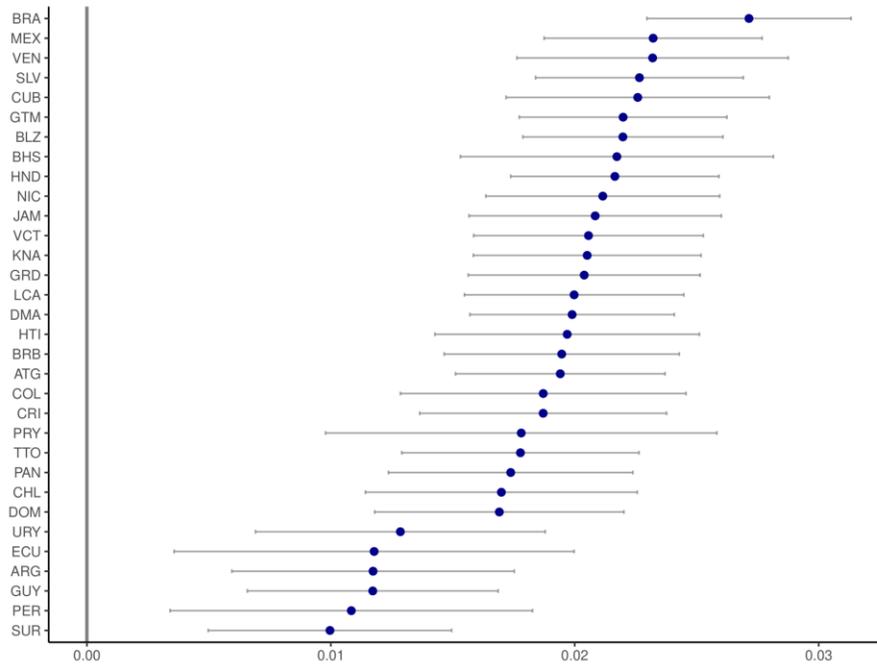
⁵ La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda a sus países miembros que calculen las "normales climáticas" durante periodos de 30 años —la media anual o mensual y la varianza de las variables meteorológicas en un periodo definido de 30 años— y que las actualicen cada 30 años (Arguez y Vose 2011). En términos estadísticos, esto significa simplemente que el clima (la distribución completa de las variables meteorológicas) se estima utilizando una muestra de 30 años, aunque medir solo dos momentos (media y varianza) puede no ser la mejor manera de estimar la distribución subyacente de una estadística meteorológica. Para profundizar en estas cuestiones, véase Hsiang (2016).

⁶ A diferencia de las temperaturas, las precipitaciones son fenómenos muy localizados que exhiben una variación espacial mucho más fuerte que las temperaturas. Esto implica que para las precipitaciones la agregación espaciotemporal a nivel país/año puede oscurecer algunos cambios importantes a nivel local que no se ven reflejados aquí.

⁷ Esta misma regresión con los datos de precipitación revela que para la mayoría de los países esta tendencia temporal lineal no es significativamente distinta de 0. Únicamente Chile y Bahamas tienen una tendencia temporal significativa y respectivamente negativa y positiva, reiterando nuestras observaciones anteriores en cuanto a la evolución de esta variable.

indicando que la temperatura anual en los países de la región ha aumentado en promedio 0.018°C cada año entre 1970 y 2020.

Gráfico 2
Aumento promedio anual de la temperatura por país, 1970-2020
(En centígrados)

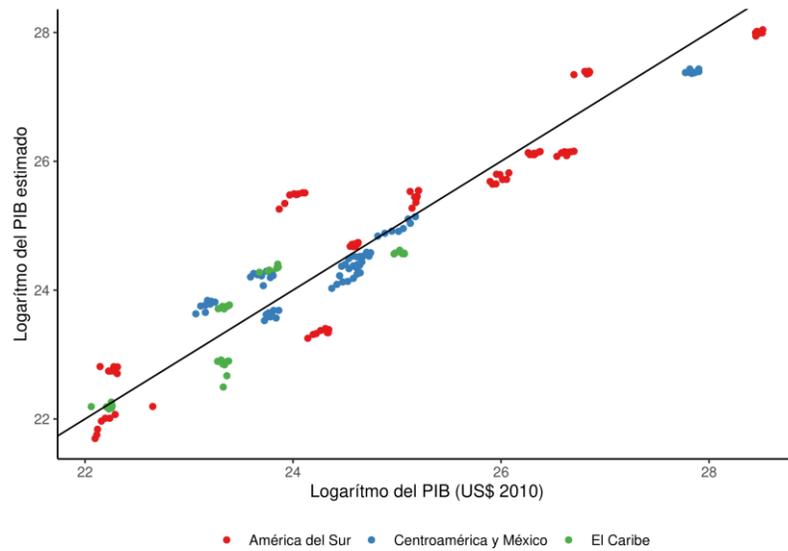


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de CRU.

Nota: Los puntos representan la estimación del coeficiente de interés en la ecuación (o).

Para complementar el análisis del impacto de las variables climáticas en la actividad económica, este estudio también usa fuentes de datos alternativas generadas mediante Observaciones de la Tierra (i.e. Earth Observations) que se describen a continuación. Este enfoque busca enriquecer el estudio basado en datos de PIB tradicional y usa datos con mayor desagregación espaciotemporal con el fin de aproximar la actividad económica local en zonas urbanas. Para ello, se recurre primero al concepto de "grado de urbanización" para delimitar las ciudades de forma consistente y sistemática en los países de la región (Dijkstra et al. 2020). Esta metodología ha sido respaldada por las Naciones Unidas en marzo de 2020 (UN Statistical Commission, 2020) para delinear zonas urbanas a nivel internacional. De acuerdo con esta metodología, los centros urbanos son clúster de población que cumplen con el doble criterio de una densidad mínima de 1.500 personas/km² y una población total de al menos 50.000 habitantes.

Gráfico 3
PIB predicho en base a las luces nocturnas VIIRS y PIB de países ALC, 2013-2020

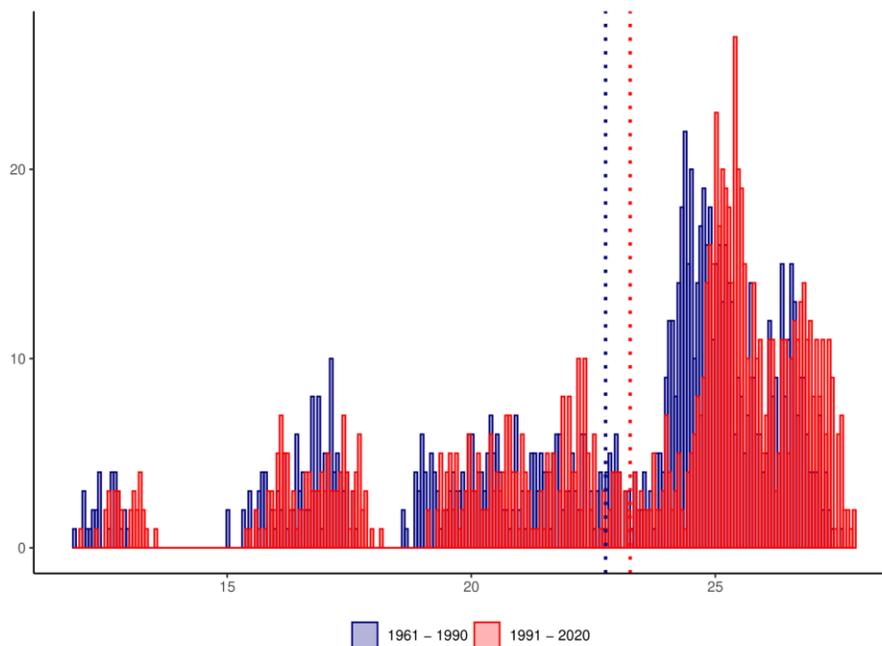


Fuente: Elaboración propia con datos del WDI y VIIRS.

Nota: El PIB es predicho en base a una regresión lineal del logaritmo del PIB sobre el logaritmo de las luces nocturnas en ciudades agregadas por año para cada país (ver anexo 3).

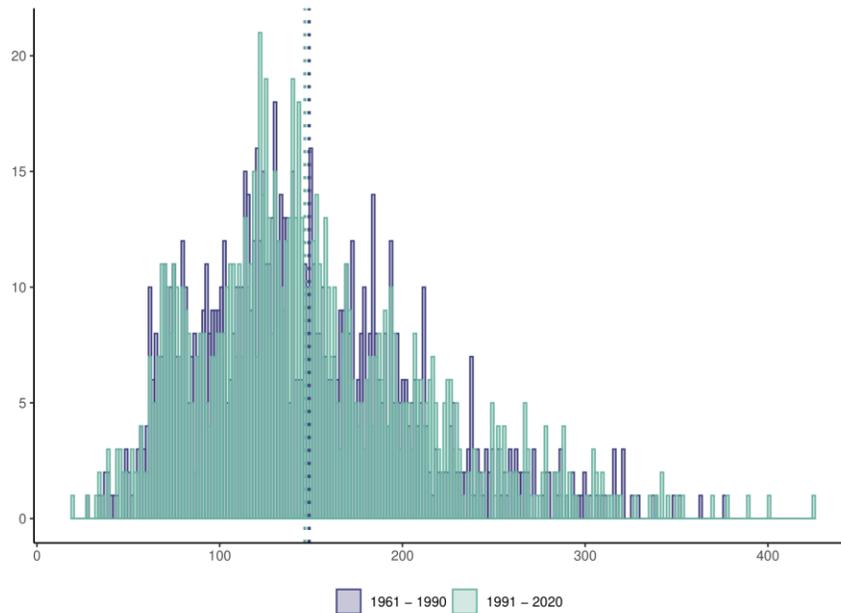
Gráfico 4
Distribución de las temperaturas en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020
y precipitaciones en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020

A Distribución de las temperaturas en grados centígrados en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020



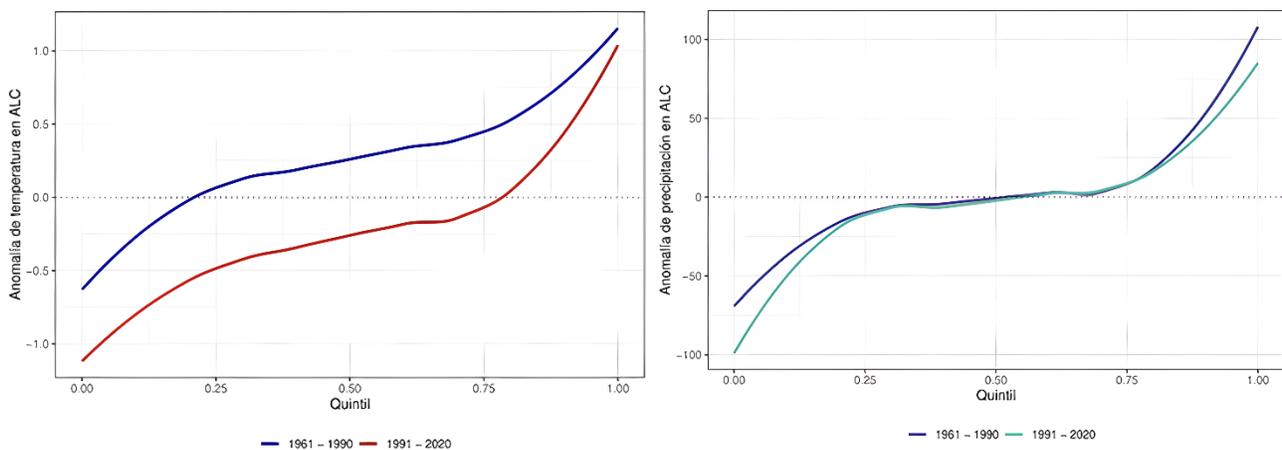
Fuente: Elaboración propia con datos del CRU.

B. Precipitaciones en los países, en milímetros, de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020



Fuente: Elaboración propia con datos del CRU.

Gráfico 5
Probabilidad de anomalías de temperatura y anomalías de precipitaciones
en los países de ALC durante 1961-1990 vs. 1991-2020



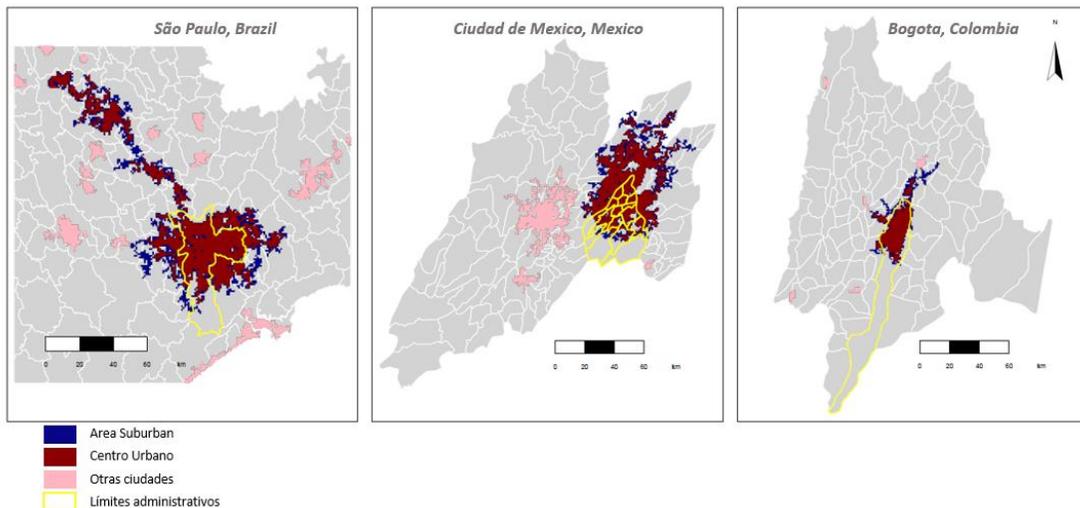
Fuente: Elaboración propia con datos del CRU.

Como se ilustra en el gráfico 6, este enfoque pone de manifiesto el desfase entre límites administrativos urbanos (en amarillo) y distribución de la población urbana (en rojo y azul). El enfoque propuesto para esta investigación se basa la distribución espacial de la población, lo cual refleja mejor la realidad socioeconómica y las interrelaciones funcionales de las ciudades que los límites administrativos usualmente empleados. Nuestra muestra final incluye 1,031 ciudades, que van desde

pequeñas áreas urbanas (es decir, 50.000 personas en 2015, según la definición de "grado de urbanización") hasta gigantescas megalópolis (casi 20 millones para Sao Paulo y Ciudad de México).

En base a esta delineación de ciudades usamos el Google Earth Engine para extraer las variables climáticas de interés mediante estadísticas zonales para cada ciudad. Las temperaturas provienen de la base de datos ERA-5 Land desarrollada por Copernicus con una resolución espacial de 0.1° y las precipitaciones provienen de la serie CHIRPS con una resolución de 0.05° ⁸. Finalmente, la actividad económica local a nivel de ciudad es aproximada mediante la suma de las luces nocturnas captadas dentro de los límites de cada ciudad (NTL por sus siglas en inglés). Siguiendo los últimos hallazgos de la literatura, preferimos la serie VIIRS a la DMSP como proxy para la actividad económica en zonas urbanas (Gibson et al. 2021). La serie VIIRS proporcionada por la NOAA cuenta con una resolución de aproximadamente 500 m al ecuador y promediamos los datos por trimestre para limitar la fuerte variabilidad de la serie inicial⁹. Nos enfocamos en el periodo 2013-2021, lo cual nos permite construir un panel de 35,941 observaciones. Al agregar esta serie de luces nocturnas en ciudades por año y país, se comprueba una fuerte correlación con las series de PIB usadas en nuestro panel de referencia. Esto nos permite predecir el nivel de PIB de cada país en base a las luces nocturnas urbanas con una buena precisión: como puede observarse en el gráfico 3, al graficar estas predicciones contra los datos de PIB del WDI, la mayoría de los puntos están cerca de la línea de 45° , revelando un buen ajuste y un modelo que produce estimaciones aceptables (ver anexo 3 para más detalles).

Mapa 1
Las ciudades según el "grado de urbanización" vs. los límites administrativos



Fuente: Elaboración propia en base a EU-GHSL.

⁸ Estas bases de datos están libremente disponibles en línea y accesibles mediante el *Google Earth Engine*.

⁹ Del conjunto de datos se quitaron dos ciudades con valores extremadamente altos de NTL probablemente vinculados a fuentes de luz nocturnas no antrópicas.

III. Modelo econométrico

El marco empírico utilizado en este trabajo se basa directamente en el propuesto por Dell, et al., (2012, 2014) y Burke, et al. (2015). Fundamentalmente busca aislar el efecto causal de la temperatura de otros factores potencialmente correlacionados como, por ejemplo, la institucionalidad. En un experimento ideal, compararíamos dos países idénticos, calentáramos la temperatura de uno y compararíamos su producción económica con la del otro. En la práctica, nos basamos en econometría de panel con efectos fijos para aproximarnos a este experimento, comparando 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. Así, una economía observada durante un año frío es el "control" de esa misma sociedad observada durante un año de "tratamiento" más cálido. Este enfoque no compara la producción entre distintos países porque, como ya se ha dicho, es probable que esas comparaciones sean sesgadas y confundan el impacto de la temperatura con otros factores. Por tanto, los resultados deben distinguirse de los estudios transversales que atribuyen las diferencias del PIB entre países a sus temperaturas (Nordhaus 2006). Nuestra especificación econométrica de referencia se define de la siguiente manera¹⁰:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 T_{it} + \beta_2 P_{it} + \omega_i + \theta_{tr} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Donde ΔY_{it} representa la tasa de crecimiento del Producto Interior Bruto (PIB) per cápita del país i en el año t , T_{it} y P_{it} son vectores de la temperatura media anual y precipitación media anual, ω_i son efectos fijos a nivel de país y θ_{tr} los efectos fijos anuales para cada subregión (es decir, el efecto fijo del año interactuado con una *dummy* subregional: Caribe, América Central, América del Sur). ε_{it} es el

¹⁰ Como señalado por Dell, et al., (2012), una ecuación de crecimiento integrada con el nivel logarítmico de la producción produciría no estacionariedad tanto en los niveles de producción (en el lado izquierdo) como en los factores acumulables (en el lado derecho). En cambio, una ecuación de crecimiento en primeras diferencias, como en la ecuación (1) aquí usada, identifica adecuadamente los efectos del clima sobre el crecimiento económico y evita depender de supuestos de cointegración para la identificación. Es lo que motiva la estimación de la ecuación (1) con el crecimiento del PIB per cápita como variable dependiente.

término de error agrupado simultáneamente por país y subregión-año (siguiendo la agrupación bidireccional de Cameron, Gelbach y Miller, 2011 que no sugieren los resultados de las principales pruebas de diagnósticos de modelos de panel).

Con esta ecuación, estimamos cómo cambia la producción económica en relación con el año anterior —es decir, el crecimiento económico anual— teniendo en cuenta i) todas las diferencias constantes entre países que puedan estar correlacionadas con la temperatura y las tasas de crecimiento, como la geografía, la cultura o la historia; ii) todas las perturbaciones contemporáneas comunes a cada subregión, por ejemplo, los cambios de precios globales o las innovaciones tecnológicas; y iii) los efectos posiblemente no lineales de la temperatura media anual y las precipitaciones, agregando los vectores de temperatura y precipitación al cuadrado como se indica a continuación. Este enfoque es más robusto que el control mediante variables observadas, ya que tiene en cuenta tanto la heterogeneidad no observada como las tendencias temporales. En esencia, con esta ecuación analizamos si las desviaciones específicas de cada país respecto a su tendencia de crecimiento están relacionadas con las desviaciones específicas respecto a sus tendencias de temperatura y precipitación, después de tener en cuenta cualquier choque común a todos los países.

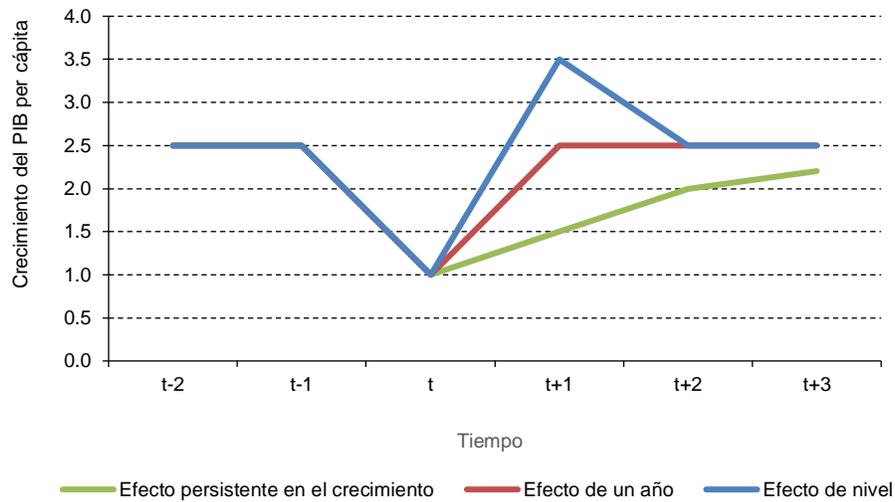
Se utiliza luego el marco metodológico descrito en la ecuación (1) para explorar dos temas primordiales a la hora de evaluar los impactos futuros del cambio climático. En primer lugar, se analiza la presencia de una relación no lineal entre la temperatura y la actividad económica mediante una prueba de significatividad de Wald con $H_0: \beta_2 = 0$ o $H_0: \beta_4 = 0$ en la ecuación modificada (2) a continuación:

$$\Delta Y_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 T_{it} + \beta_2 T^2_{it} + \beta_3 P_{it} + \beta_4 P^2_{it} + \omega_i + \theta_{tr} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

A nivel global varios autores han encontrado una relación no lineal de este tipo con un punto de inflexión entre 10° y 13°C. Sin embargo, como la mayoría de los países de la región tienen temperaturas por encima de este punto de inflexión, no es seguro que esta forma funcional sea la más adecuada para calibrar impactos en ALC.

En segundo lugar, exploramos la dimensión temporal de los impactos de las variaciones climáticas. Para ello, nos preguntamos primero si las variaciones meteorológicas tienen un impacto permanente o sólo momentáneo en la actividad económica. Esta diferencia es muy importante para informar sobre los futuros impactos del cambio climático ya que, 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 —siempre y cuando no se registren perturbaciones adicionales en los años subsiguientes. Ahora bien, si las perturbaciones meteorológicas influyen en la capacidad de crecimiento del PIB (esto es “efectos de crecimiento”), las variaciones climáticas desencadenarían efectos permanentes, lo cual terminaría ampliando las pérdidas inicialmente provocadas por la perturbación. Esto podría ocurrir, por ejemplo, si las pérdidas contemporáneas alteran el ritmo de las estrategias de inversión o de acumulación de capital humano, alterando así la productividad futura. Para evaluar la presencia de estos efectos en nuestros datos, incluimos rezagos de temperatura en la ecuación (1) y distinguimos tres casos: i) si la suma de los coeficientes significativos de la temperatura rezagada es cero, existe evidencia de que el crecimiento económico rebota después de las perturbaciones iniciales y las variables meteorológicas sólo tienen un “efecto de nivel” sobre el PIB (en contraposición a los “efectos del crecimiento”); ii) en el caso de que sólo el primer coeficiente rezagado sea significativo y la suma de los coeficientes sea inferior a 0, 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 (línea roja en el gráfico 6); 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 (línea azul en el gráfico 6).

Gráfico 6
Efectos de crecimiento vs. efectos de nivel asociados a las desviaciones climáticas



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Burke y Tanutama (2020).

Otro tema central relacionado a la dimensión temporal es el de la magnitud de los procesos de adaptación al cambio climático. Uno podría argumentar que el impacto marginal de las desviaciones climáticas sobre el producto agregado se ha ido reduciendo con el tiempo ya que el crecimiento económico, las nuevas tecnologías o incluso las evoluciones estructurales de las economías de la región (i.e. menor peso relativo de la agricultura) han permitido reducir la vulnerabilidad del proceso productivo ante el clima. Estos cambios en la vulnerabilidad de los países podrían no captarse a través de los datos anuales ya que suelen darse a más largo plazo. Para analizar estos aspectos, evaluamos una versión de largo plazo de nuestro modelo anterior, agrupando los datos disponibles ya sea por décadas o por los dos periodos climáticos antes mencionados (i.e. 1970-1990 vs. 1991-2020) y estimando una versión revisada del modelo especificado anteriormente:

$$\Delta \overline{G}_{id} = \alpha_{id} + \beta_1 \overline{T}_{id} + \beta_2 \overline{P}_{id} + \omega_i + \theta_d + \varepsilon_{id} \quad (3)$$

donde G_{id} es el promedio de crecimiento del país i durante una década (o uno de los periodos climáticos). La temperatura y la precipitación medias en estos periodos son \overline{T}_{id} y \overline{P}_{id} , mientras que θ_i recoge efectos fijos por país y θ_d efectos fijos por década (periodo climático). ε_{id} es un término de error distribuido independientemente. Esta es la versión de largo plazo del modelo de panel de efectos fijos de la ecuación (1). También usamos la ecuación (1) para evaluar por separado el efecto marginal de las temperaturas en cada uno de los periodos climáticos (i.e. 1970-1990 vs 1991-2020) y analizar si el coeficiente asociado a temperaturas se ha reducido a lo largo del tiempo, lo cual podría indicar una reducción de la vulnerabilidad climática de los países.

IV. Resultados empíricos

El resultado principal de este informe es que para América Latina y el Caribe existe una relación negativa y estadísticamente significativa entre la tasa de crecimiento del PIB/cápita y la temperatura. El cuadro 1 explora primero la presencia de no linealidades en la relación entre el crecimiento y las variables climáticas introduciendo el término cuadrático de la temperatura y la precipitación, pero no encuentra pruebas de ello (col.1)²¹. La columna 2 analiza la hipótesis nula de que la temperatura no afecta a la actividad económica y muestra el resultado de nuestra especificación de referencia proporcionando evidencia de que la temperatura tiene un impacto negativo y significativo en la tasa de crecimiento del PIB/cápita, mientras que los efectos de la precipitación a nivel nacional/anual no son estadísticamente diferentes de 0. Para asegurarnos de que esta estimación sea robusta, consideramos una variedad de pruebas de robustez. La columna 3 añade al modelo el retardo de la variable dependiente (es decir, el crecimiento del PIB/cap.), como se hace a veces en la literatura macroeconómica para tener en cuenta posibles variables omitidas que varían en el tiempo, como las inversiones de capital parcialmente duraderas (Romer y Romer, 2010) y confirma que el coeficiente de la temperatura sigue siendo negativo y de una magnitud muy similar²². La columna 4 utiliza las variables de temperatura y precipitación del año del país ponderadas por el área geográfica (en lugar de la población) y revela impactos casi idénticos, corroborando las estimaciones obtenidas en la columna 2. En el anexo 2 se presentan extensas pruebas de robustez que comprueban que estos resultados son robustos a i) la elección de efectos fijos, ii) la inclusión de diferentes tendencias temporales, iii) la eliminación de un país a la vez, iv) la exclusión de grandes valores atípicos de crecimiento o v) la agrupación de errores estándar a nivel de país en vez del agrupamiento bidireccional sugerido por las pruebas estadísticas estándares para datos de panel.

²¹ La mayoría de los países exhiben altas temperaturas anuales promedio, con un promedio regional en torno a los 23°C, lo cual explica en parte que el ajuste lineal describa mejor la relación PIB-temperatura en la región.

²² El largo horizonte temporal de nuestro panel (con T=50 para la mayoría de las observaciones) reducen considerablemente el riesgo de sesgo conocido como *Nickell Bias* y que podría aparecer al usar el rezago de la variable dependiente como regresor.

Cuadro 1
Principales resultados econométricos

	<i>Variable Dependientes</i>			
	Crecimiento PIB per cápita			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Temperatura ponderada por población	0,17 (2,50)	-1,06*** (0,39)	-0,96** (0,39)	
Temperatura ponderada por población al cuadrado	-0,03 (0,06)			
Precipitación ponderada por población	0,004 (0,02)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	
Precipitación ponderada por población al cuadrado	0,00 (0,00)			
Crecimiento del PIB per cápita rezagado			-0,28*** (0,05)	
Temperatura				-1,06*** (0,44)
Precipitación				0,01 (0,01)
Observaciones:	1 630	1 630	1 623	1 630
Estadístico F	1,83 (df = 4; 1 441)	3,40** (df = 2; 1 443)	37,75*** (df = 3; 1 435)	3,07** (df = 2; 1 443)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

En términos cuantitativos, los resultados de la columna 1 indican que en América Latina y el Caribe, un aumento de 1°C en la temperatura media anual disminuye la tasa de crecimiento del PIB/cápita en 1,06 puntos porcentuales (p.p.). Entre 1970 y 2020 el PIB per cápita de los países de la región ha crecido en promedio un 1,51% por año. Esto implica que con un clima 1°C más caliente la tasa de crecimiento histórica anual se vería reducida de más de 2/3 (i.e. 1,51-1,06). Otra manera de poner en perspectiva estos resultados es retomando la probabilidad de experimentar una desviación de temperatura. Basándonos en los patrones climáticos observados en la región durante el período 1990-2020 (gráfica 3 izq.), existe una probabilidad del 20% de experimentar una desviación de la temperatura de aproximadamente +0,45°C. Esto implica que de mantenerse el clima experimentado durante los últimos 30 años (lo cual es altamente improbable considerando las NDC actuales y la inercia de los Gases de Efecto Invernadero —GEI— en la atmósfera, véase Samaniego et al. 2022), la región enfrenta una probabilidad anual del 20% de experimentar una reducción de su tasa de crecimiento del PIB/cápita de 0,47 p.p. (0,45*1,06).

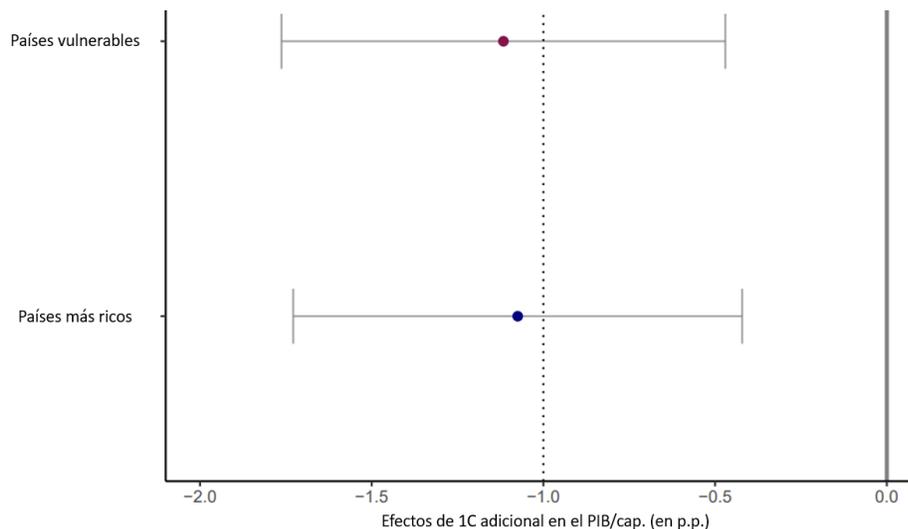
Usamos luego nuestro marco empírico para explorar la heterogeneidad del impacto de las temperaturas sobre la actividad económica considerando dos factores que pueden influir en esta relación: la temperatura promedio de cada país y su nivel de vulnerabilidad a choques climáticos. En efecto, los países más pobres tienden a ser más expuestos a temperaturas más altas (gráfico 1), lo cual podría llevar a pensar que el impacto marginal de un grado Celsius de calentamiento sea más fuerte en estos países¹³. Por otro lado, estos países tienden a ser más vulnerables a las variaciones climáticas.

Esta mayor vulnerabilidad se vincula por un lado a su fuerte sensibilidad al clima, ya que generan usualmente una proporción importante de su PIB a través de sectores sensibles al clima como la agricultura o la pesca y, por otro lado, a sus menores recursos para amortiguar los choques negativos de un incremento de las temperaturas y recuperarse (por ejemplo, falta de ahorros o diversificación).

¹³ Esto es, en países del Caribe, donde la temperatura media es de 25°C o más, un grado adicional podría tener efectos adversos más fuertes que en países como Perú o Chile donde la temperatura está por debajo de 16°C.

Para analizar si, a nivel regional, el impacto de las variaciones de las temperaturas es efectivamente diferenciado en base a esos criterios, introducimos dos términos de interacción a la ecuación 1: el primero interactúa la temperatura anual con una dummy de "país caliente", definido como una temperatura superior a la media de temperaturas regional durante el periodo 1961-1990 (24.31°C); el segundo interactúa la temperatura anual con una dummy de "país rico", definido como un país con PIB/cápita por encima de la mediana regional, calculando esta mediana para cada uno de nuestros periodos de referencia (esto es US\$ 3,614 primero y US\$6,121 para el segundo periodo, con el fin de aproximar diferencias de vulnerabilidad ante un incremento de las temperaturas). Los resultados indican que ser un país caliente no genera una diferencia significativa en el impacto de las temperaturas, mientras que el efecto negativo de la temperatura es levemente exacerbado en caso de ser un país vulnerable y este efecto se ilustra en el gráfico 7. El anexo 2 ofrece todos los detalles de las regresiones¹⁴. Estos resultados indican que para la región ALC la condición de vulnerabilidad es más relevante que la condición de país caliente para explicar las diferencias de impacto de un incremento de las temperaturas.

Gráfico 7
Heterogeneidad del impacto de un aumento de las temperaturas en base a la vulnerabilidad de los países



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, cabe puntualizar que el coeficiente de impacto para los países ricos es apenas un 6% más bajo que el de los países vulnerables y sugiere que el desarrollo económico por sí solo no permitirá reducir sistemáticamente los daños climáticos futuros en los países vulnerables. De hecho, esto es consistente con los análisis a nivel micro que sugieren que la temperatura puede afectar negativamente a los principales insumos económicos incluso en entornos altamente industrializados y protegidos por el clima. Esto incluye impactos en la función cognitiva (Heyes and Saberian, 2018), la productividad del trabajo y de los factores totales (Zhang et al. 2018) y varios aspectos de la salud, incluyendo la salud mental. Mientras que ciertas protecciones (por ejemplo, el aire acondicionado) han

¹⁴ El hecho de que el coeficiente asociado al término de interacción de "país caliente" no sea estadísticamente significativo es consistente con el rechazo de una relación cuadrática mencionada anteriormente. Estos resultados son robustos usando otras definiciones de límites para países pobres y países como por ejemplo el nivel promedio de esas variables cada año. Sin embargo, podría ser que con niveles de PIB/cápita más altos que los de los países de la región estos resultados difieran.

demostrado moderar los impactos de algunos resultados (Barreca et al. 2016), no parece haber opciones para aislar la producción económica general de los efectos negativos de altas temperaturas.

Para entender mejor si los efectos de las temperaturas aquí estimados reflejan efectos persistentes sobre la actividad económica ("efectos de crecimiento") o, por el contrario, si los países se recuperan tras un aumento temporal de la temperatura ("efectos de nivel") seguimos el trabajo pionero de Dell et al. (2012) y estimamos unos modelos de rezagos distribuidos que permiten que una determinada perturbación de la temperatura afecte a la producción tanto en el año actual como en los siguientes. El cuadro 2 presenta los resultados de estas estimaciones dinámicas y ofrece una representación visual de los resultados. El primer rezago de estas estimaciones es significativo y de una magnitud incluso superior al impacto momentáneo de una desviación de temperaturas¹⁵.

Estos coeficientes sugieren que prevalecen los efectos de crecimiento sobre los efectos de nivel. Es decir, los efectos de una temperatura superior a la media persisten el año siguiente y no se revierten en el medio plazo. Recordando el marco empírico de la sección anterior, en el modelo con un solo rezago, un efecto de nivel aparecería como coeficientes iguales y de signos opuestos entre el efecto inmediato y el primer rezago. En términos más generales, aunque los efectos las temperaturas se produzcan con rezagos, es decir, si la temperatura del año pasado afecta a la cosecha de este año, si fueran únicamente efectos de nivel, acabarían invirtiéndose una vez que desaparece la perturbación. Esto implica que en la medida en que los efectos de la temperatura son efectos de nivel, la suma acumulada del coeficiente asociado a la temperatura y todos sus retardos debería ser cero. El hecho de que los rezagos del cuadro 2 no sumen cero ni en la columna 1 ni en la 2 sugiere que los efectos de la temperatura persisten a medio plazo, es decir, que se aproximan a efectos de crecimiento que persisten por lo menos un año (línea roja en el gráfico 6).

Cuadro 2
Resultados de la estimación del modelo con rezagos de temperatura e ilustración gráfica

	<i>Variable Dependientes</i>	
	Crecimiento PIB per cápita	
	(1)	(2)
Temperatura ponderada por población	-0,78* (0,42)	-0,88** (0,43)
Precipitación ponderada por población	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)
Temperatura ponderada por población t-1	-0,99** (0,47)	-1,15** (0,52)
Temperatura ponderada por población t-2		0,74 (0,51)
Temperatura ponderada por población t-3		0,58 (0,53)
Temperatura ponderada por población t-4		0,34 (0,60)
Temperatura ponderada por población t-5		-0,90** (0,43)
Observaciones:	1 630	1 630
Estadístico F	3,52** (df = 1; 1 442)	2,53** (df = 7; 1 438)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

¹⁵ Aunque el coeficiente sobre los demás rezagos es levemente positivo en años posteriores, no es significativamente diferente de 0. El impacto de las temperaturas solo vuelve a recobrar significatividad con un efecto negativo 5 años después. Resultados muy similares se obtienen cuando se incluyen 10 rezagos.

Finalmente, para entender mejor como los impactos del clima podrían afectar la producción económica a futuro es importante entender cómo y en qué magnitud ha evolucionado la vulnerabilidad de los países de ALC durante los últimos 50 años. Hasta ahora nos hemos enfocado en cambios anuales en temperatura y actividad económica. Sin embargo, el cambio climático está impulsando un aumento paulatino y tendencial de las temperaturas que abarca periodos de tiempo mucho más largos. El efecto económico del cambio climático a mediano plazo podría por lo tanto diferir de las estimaciones anuales de corto plazo aquí presentadas. En teoría, dos efectos podrían materializarse: i) si las sociedades se adaptan a nuevos patrones climáticos mediante evoluciones estructurales hacia sectores, tecnologías y actividades más resilientes al clima, el efecto marginal del aumento de la temperatura podría atenuarse con el tiempo; por lo contrario ii) este aumento sostenido en el tiempo puede reforzar los problemas relacionados con el crecimiento al ejercer una presión continua sobre los sistemas políticos u otros factores relevantes y generar efectos acumulados mayores a los impactos de corto plazo. En pocas palabras, el impacto de las temperaturas sobre la actividad económica podría intensificarse o reducirse a mediano plazo según la capacidad de adaptación de los países. Para analizar estos aspectos, evaluamos una versión de largo plazo de nuestro modelo anterior siguiendo la especificación de la ecuación (3).

Los resultados de estas regresiones se encuentran en el gráfico 8. Las columnas 1 y 2 muestran los resultados con datos agregados a nivel de década (primero con el rezago del crecimiento del PIB/cap. y luego omitiéndolo), mientras que la columna 3 usa datos agrupados por periodos climáticos (i.e. 1970-1990 vs 1991-2020). El coeficiente asociado a temperaturas es sistemáticamente negativo y significativo y nos lleva a concluir que los efectos observados en los datos anuales persisten a largo plazo. Por otro lado, estimamos la ecuación (1) para cada periodo climático por separado y reportamos los resultados del impacto marginal de la temperatura en el gráfico que acompaña el gráfico 8. Estos resultados no solo evidencian la ausencia de una reducción significativa del impacto marginal de las temperaturas sobre la actividad económica¹⁶, sino que incluso sugieren que estos efectos tienden a intensificarse a lo largo del periodo. Esta evolución podría relacionarse con la especialización en el sector primario de muchos países de la región y la fuerte dependencia a actividades sensibles al clima, así como la falta de innovación en tecnologías resilientes al clima. Esto es, en vez de fomentar una mayor adaptación al cambio climático, las trayectorias de crecimiento observadas en ALC durante las últimas décadas han resultado en una acumulación creciente de vulnerabilidad climáticas que podrían terminar exacerbando aún más el impacto económico del aumento de las temperaturas. Para finalizar, usando nuestros datos agrupados por periodos climáticos estimamos una regresión en primeras diferencias para comprobar la robustez de estos efectos a diversas especificaciones. El gráfico 9 relaciona la variación del promedio de crecimiento entre 1970-1990 y 1991-2020 frente a la variación del promedio de la temperatura durante los mismos periodos y, nuevamente, ratifica los hallazgos anteriores: los años más cálidos que lo normal tienen efectos adversos importantes y persistentes sobre la producción económica. En definitivas, la evidencia empírica indica que ni la experiencia de los países de la región con altas temperaturas ni los avances tecnológicos ocurridos desde los 1970 han alterado la respuesta a la temperatura. Dicho de otro modo, los avances que han registrado los países de América Latina y el Caribe desde los años 1970 no han sido acompañados por una evolución estructural sus economías que permita eliminar las consecuencias negativas del aumento de la temperatura.

¹⁶ Un t-test entre los impactos marginales asociado a cada coeficiente revela que la diferencia entre ellos no es estadísticamente significativa.

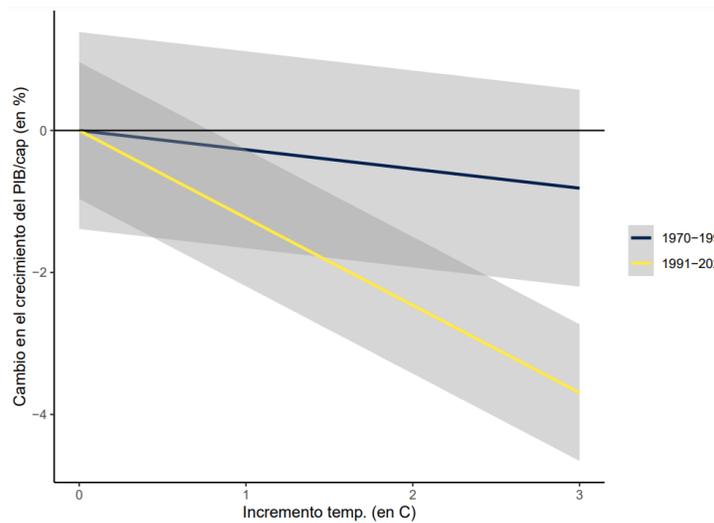
Cuadro 3
Regresiones de largo plazo

	<i>Variable Dependientes</i>		
	Crecimiento PIB per cápita		
	(1)	(2)	(3)
Temperatura ponderada por población	-3,62*** (1,12)	-2,74*** (1,06)	-3,56*** (0,51)
Precipitación ponderada por población	0,01 (0,11)	0,03*** (0,01)	-0,19*** (0,02)
Crecimiento del PIB per cápita t-1	-0,08		
Observaciones:	132	165	66
Estadístico F	1,63 (df = 3; 93)	1,87 (df = 2; 126)	6,90*** (df = 2; 30)

Fuente: Elaboración propia.

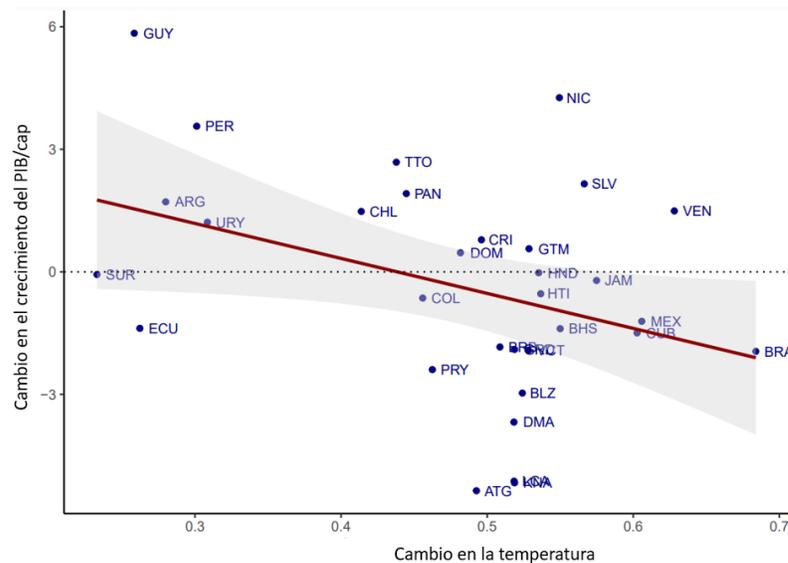
Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

Gráfico 8
Estimación de los efectos marginales de la temperatura en cada periodo climático



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9
Impacto a largo plazo de las temperaturas sobre el desempeño económico



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Este gráfico representa la variación del crecimiento medio anual frente a la variación de la temperatura media anual entre los períodos 1970-1990 y 1991-2020 para cada país. La línea roja muestra una regresión lineal simple de esta relación y la zona sombreada muestra el intervalo de confianza del 95% en la línea de regresión. Se ha eliminado Bolivia, ya que es el único país en el que el cambio de temperatura no es significativamente diferente de 0 en todo el período.

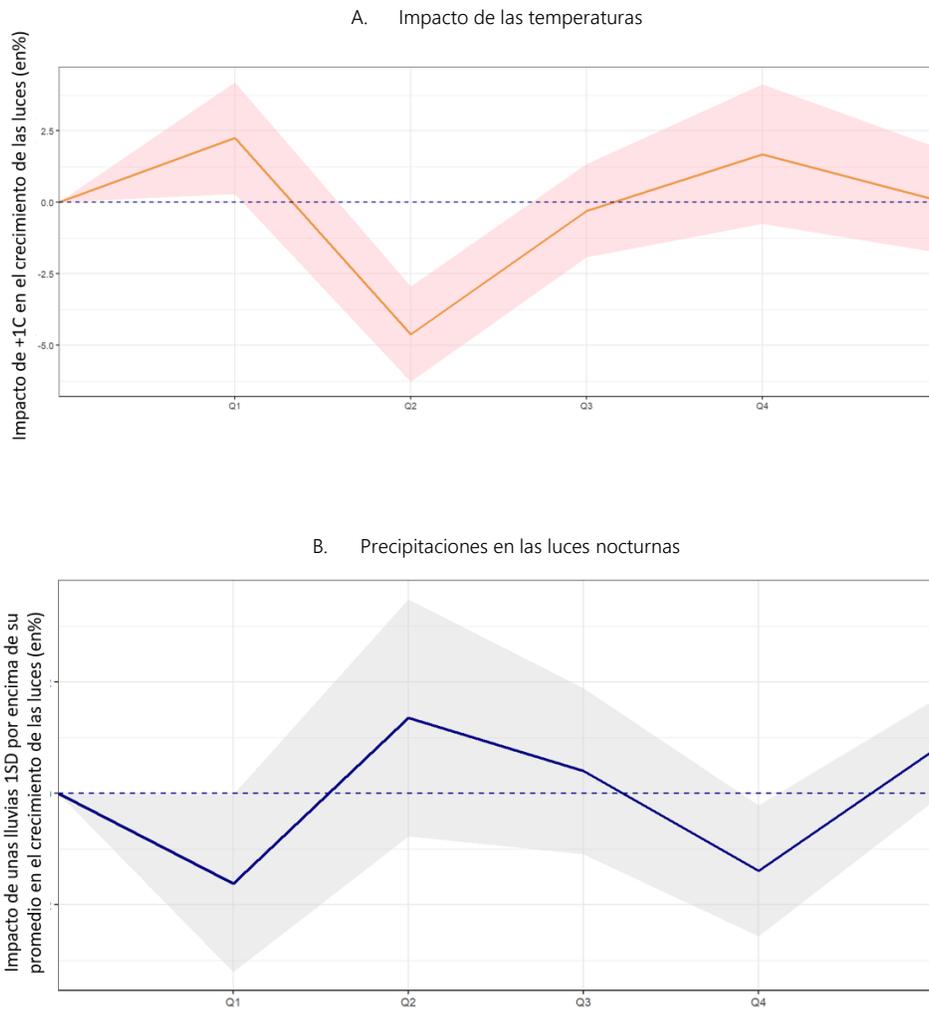
A. Análisis a nivel de ciudad con luces nocturnas

Antes de proyectar los impactos potenciales del aumento de las temperaturas, usamos la serie de luces nocturnas descritas anteriormente para analizar cómo las variables climáticas (i.e. temperatura y precipitaciones) afectan la actividad económica en las ciudades de la región. Es importante recalcar que la mayor desagregación espaciotemporal de las luces nocturnas nos lleva a una interpretación diferenciada para los impactos aquí estimados: con datos trimestrales para el período 2013-2021, las variaciones de temperatura y precipitaciones incluidas en esa subsección se asemejan a shocks repentinos por eventos climáticos extremos más que a un aumento paulatino y sostenido de las temperaturas a lo largo del tiempo. Dicho de otra forma, mientras que el análisis anterior con datos de PIB es más adecuado para reflejar el impacto del aumento tendencial de las temperaturas, los resultados de estas estimaciones informan sobre los impactos que tendrían, por ejemplo, una ola de calor o unas lluvias torrenciales. De hecho, la evidencia científica indica que el aumento gradual de la temperatura será acompañado por una mayor propensión a olas de calor (i.e. mayores y más frecuentes temperaturas máximas) y a lluvias torrenciales (IPCC 2021). Por lo tanto, los impactos que se presentan en esta subsección no sustituyen los impactos anteriores, sino que tienen que ser vistos como una estimación complementaria de los múltiples efectos que conlleva el cambio climático para la actividad económica.

Basándonos en el marco teórico desarrollado en la sección 4, retomamos la ecuación 1 donde ΔY_{it} representa ahora la tasa de crecimiento de las luces nocturnas de la ciudad i en el trimestre t , T_{it} y P_{it} son vectores de la temperatura y precipitación trimestrales, ω_i son efectos fijos a nivel de ciudad y θ_{tr} los efectos fijos temporales. Estos efectos fijos temporales son incluidos por trimestre e interactuados con cada país al cual pertenece la ciudad i para controlar por posibles variaciones en la

calidad de las observaciones satelitales vinculadas a factores como por ejemplo una fuerte nubosidad o un deterioro en la calidad del material a bordo del satélite. ε_{it} es el término de error agrupado simultáneamente por ciudad y país-trimestre.

Gráfico 10
Impacto dinámico de las temperaturas y precipitaciones en las luces nocturnas urbanas



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estos gráficos se construyeron usando el coeficiente estimado y simulando un shock climático en el 1er trimestre del año. El "shock" corresponde a una temperatura +1C y a unas precipitaciones 1 desviación estándar por encima del nivel promedio de cada variable en una ciudad/trimestre dado durante el periodo 2013-2021.

El conjunto de estimaciones y de pruebas de robustez que se llevaron a cabo para este análisis se detallan en anexo 3 y resumimos aquí las conclusiones principales. Los resultados se presentan en términos dinámico para entender mejor cómo un evento climático extremo en un trimestre dado se repercute en la actividad económica local a largo de un año (i.e. incluimos de 3 a 5 rezagos de las variables climáticas en la ecuación (1)). Como se ilustra en el Gráfico 11, cuando la temperatura está 1C por encima del promedio en un trimestre dado, se registra primero un impacto contemporáneo positivo sobre la actividad económica local, que se convierte luego en un impacto negativo más que proporcional en el trimestre siguiente. Estos efectos no son significativos más allá del primer rezago de temperaturas y sugieren que la actividad económica local ya no se desvía sensiblemente de su tendencia en los trimestres subsiguientes. Las precipitaciones tienen ellas un efecto negativo significativo en el momento del shock, sugiriendo que las lluvias torrenciales y las inundaciones urbanas que suelen experimentar muchas ciudades de la región se traducen por interrupciones de negocios que en su conjunto afectan negativamente la actividad económica. Aunque la actividad económica pareciera rebotar durante el trimestre siguiente a las lluvias torrenciales, este incremento no es estadísticamente significativo y el único rezago que vuelve a ser significativo es el del cuarto trimestre que indica, de nuevo, que las lluvias torrenciales provocan efectos adversos duraderos que sitúan la actividad económica local por debajo de su tendencia.

Al sumar los coeficientes asociados a cada variable y sus 3 primeros rezagos, se estima que, para una ciudad dada, una temperatura un grado por encima del promedio durante el primer trimestre se traduce por una reducción del crecimiento de las luces nocturnas en 2.31 puntos porcentuales al finalizar el año. Igualmente, unas precipitaciones una desviación estándar por encima del promedio del primer trimestre se traducen por una reducción del crecimiento anual de las luces nocturnas de 0.84 p.p. Considerando que durante el periodo 2013-2021 el crecimiento anual promedio de las NTL en ciudades ha sido de un 4.03%, estos resultados implican que una temperatura trimestral un grado por encima del promedio reduce el crecimiento anual de las luces a cerca de la mitad, mientras que unas precipitaciones una desviación estándar por encima del promedio trimestral reducen el crecimiento anual histórico en aproximadamente un 20%.

Con el fin de afinar esta primera estimación será necesario llevar a cabo futuras investigaciones que permitan entender mejor la magnitud de estos impactos y las posibles fuentes de heterogeneidad en impactos. Un elemento de suma importancia —aunque fuera del alcance de este estudio— estriba en la difusión en el territorio de estos “shocks climáticos” y los posibles efectos de *spillovers* entre ciudad ya que los eventos climáticos extremos tienden a ser localizados y probablemente reconfiguren los incentivos económicos y la actividad local de las ciudades vecinas a la que se ha visto afectada. Ahora bien, los resultados aquí presentados tienen dos implicaciones importantes para el presente análisis. Primero, los efectos en NTL corroboran que los impactos de las variables climáticas también son significativos en ciudades y contextos urbanos, confirmando así que los impactos climáticos no solo afectan el sector agrícola, sino que tienen consecuencias para el conjunto del sistema productivo, incluyendo los sectores industriales y de servicio. Segundo, como estos impactos se asemejan a impactos por eventos climáticos extremos tienen que ser vistos como —por lo menos parcialmente— complementarios a los impactos de un aumento tendencial de las temperaturas. Esto pone nuevamente de manifiesto que las estimaciones anteriores sobre la relación PIB-temperatura corresponden a una estimación mínima de los efectos del cambio climático ya que el aumento de las temperaturas solo es una de las dimensiones del conjunto de efectos que provocará el cambio climático.

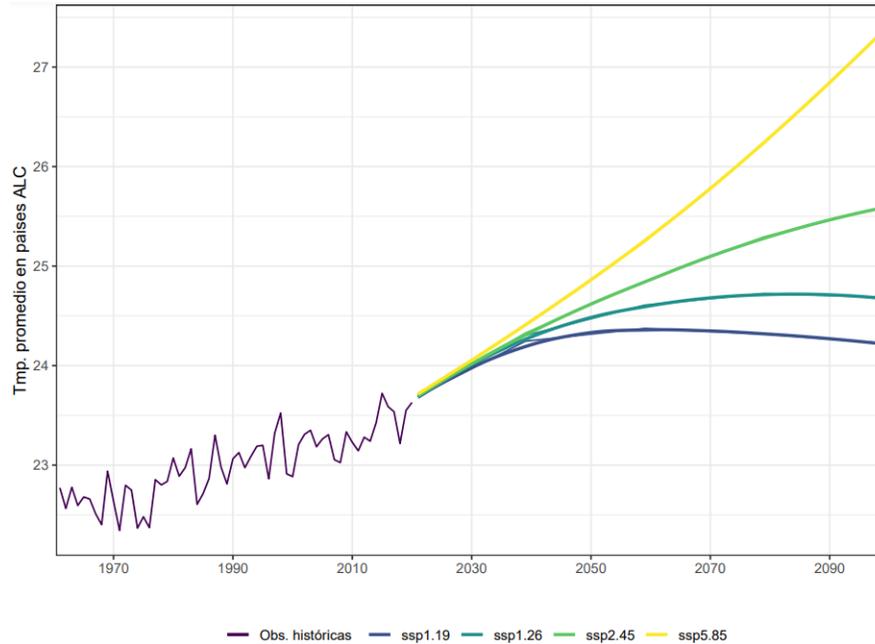
V. Proyecciones del impacto económico potencial del alza de temperaturas

Basándonos en las estimaciones empíricas presentadas en la sección anterior, proyectamos ahora los impactos económicos de un alza de temperaturas en América Latina y el Caribe según varios escenarios de cambio climático. Es importante puntualizar que estas proyecciones se enfocan únicamente en el efecto que tendrán un alza de las temperaturas y, por lo tanto, excluyen los impactos relacionados con, por ejemplo, la subida del nivel del mar o los eventos climáticos extremos más intensos y frecuentes (por ejemplo, inundaciones, olas de calor y sequías, ver la subsección anterior). Nuestro enfoque también supone que a lo largo del próximo siglo las economías de la región responderán a los cambios de temperatura de forma similar a lo que lo han hecho hasta ahora. Este supuesto implica que las proyecciones consideran que no se darán mejoras sustantivas de la capacidad de adaptación de los países, lo cual es consistente con lo que se ha observado durante los años 1970-2020. Finalmente, estas proyecciones tampoco incorporan los posibles “puntos de inflexión” (i.e. tipping points) que podrían aparecer en los sistemas climáticos (Lenton et al., 2019). En este contexto, las proyecciones presentadas a continuación no tienen que interpretarse como unas predicciones de los impactos económicos del cambio climático sino como una orientación sobre la magnitud mínima de pérdidas que la región podría sufrir ante diversos escenarios de aumento de las temperaturas.

Para cuantificar el impacto potencial del calentamiento sobre el crecimiento de los países de la región combinamos nuestra función de respuesta estimada en la sección anterior con varios escenarios de calentamiento global y los supuestos sobre el crecimiento económico y poblacional descritos en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés). Los SSP definen posibles trayectorias de desarrollo que resultarían en un RCP específico, es decir un nivel de emisiones y calentamiento específico. Los SSP aquí considerados abarcan desde el SSP1.19 que proyecta un calentamiento global de 1.5°C relativo a los niveles preindustriales y requiere alcanzar la neutralidad carbono para 2050, hasta el SSP5.85 que proyecta el aumento más fuerte de las temperaturas con más de 4°C de calentamiento global (ver Riahi et al 2017 para una presentación detallada de estos SSP). El escenario ssp1.26 es el que se asocia a un aumento global de las temperaturas cercano a +2°C mientras

que el ssp2.45 es la trayectoria más probable si no se aumentan significativamente los niveles de ambición climática en los próximos años. Para el promedio de los países de América Latina y el Caribe, la evolución de la temperatura en cada uno de estos SSP puede ser visualizada en el gráfico 11 y sigue la tendencia global, aunque con fuertes disparidades locales como detallamos a continuación¹⁷.

Gráfico 11
Evolución histórica y proyectada de la temperatura regional de acuerdo a varios SSP



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

Considerando que los efectos de la temperatura se asemejan a efectos de crecimiento más que a efectos de nivel, usamos la ecuación (4) más abajo para proyectar el impacto de las temperaturas sobre el PIB/cápita de cada país hasta el 2099 de la siguiente manera:

$$\frac{PIB}{cap_{it}} = \frac{PIB}{cap_{it-1}} \times (1 + \theta_{it} + \delta_{it}) \quad (4)$$

Donde θ_{it} representa la tasa de crecimiento sin cambio climático (es decir con una temperatura anual igual al promedio 1970-2020) del país i en el año t ¹⁸. δ_{it} es el impacto del aumento de las temperaturas sobre la actividad económica. Este impacto es calculado con la fórmula siguiente:

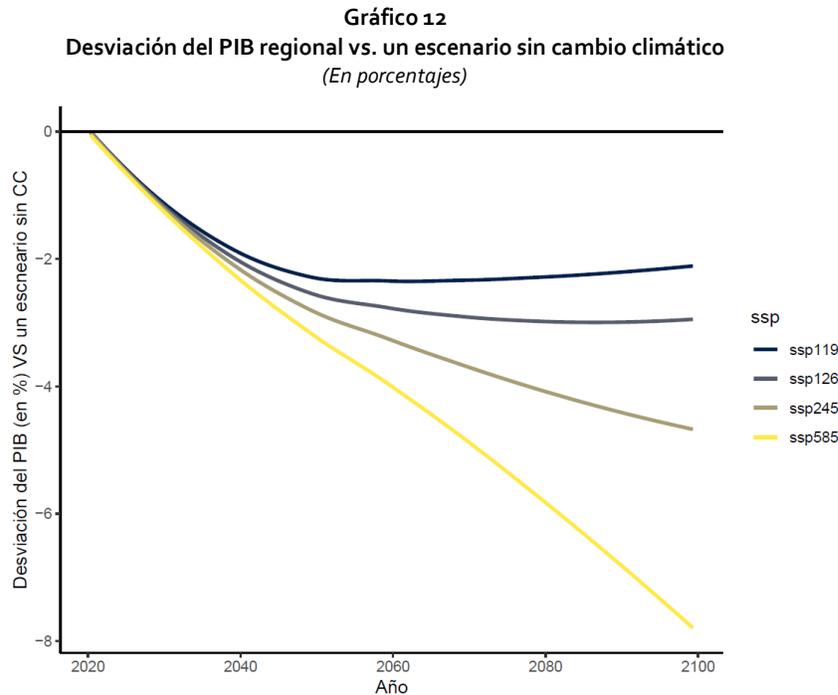
$$\delta_{it} = \beta_1 (\Delta T_{it} - \bar{T}_i) + \beta_2 (\Delta T_{it-1} - \bar{T}_i)$$

Donde β_1 es el coeficiente estimado en la columna 2 del gráfico 9 y β_2 el coeficiente asociado al primer rezago de la temperatura en ese mismo gráfico, \bar{T}_i la temperatura promedio durante el periodo base (i.e. 1970-2020) y ΔT_{it} la temperatura anual proyectada bajo cada SSP. Finalmente, usamos las proyecciones de población asociadas a cada SSP para computar el PIB de cada país y el PIB regional en un año dado.

¹⁷ Con el fin de asegurar la consistencia de las proyecciones con nuestras estimaciones econométricas usamos aquí las proyecciones de temperaturas promediadas por la población del GHS-POP de 2015.

¹⁸ Estas tasas de crecimiento son las estimadas por el IIASA bajo cada SSP. Estos datos están disponibles en <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>.

Los potenciales impactos económicos se presentan como la diferencia porcentual en el nivel del PIB en un escenario sin cambio de temperaturas y el PIB proyectado bajo los diferentes supuestos de aumento de temperaturas contenidos en cada SSP. Para cada SSP, los escenarios con cambio climático se contrastan con escenarios sin cambio climático que asumen el mismo ritmo de crecimiento económico y poblacional, por lo que las diferencias entre los impactos proyectados resultan de los aumentos diferenciados de temperatura en cada escenario. El gráfico 12 ilustra este impacto para la región en su conjunto, sumando los impactos proyectados para cada país.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de proyecciones de los SSP.

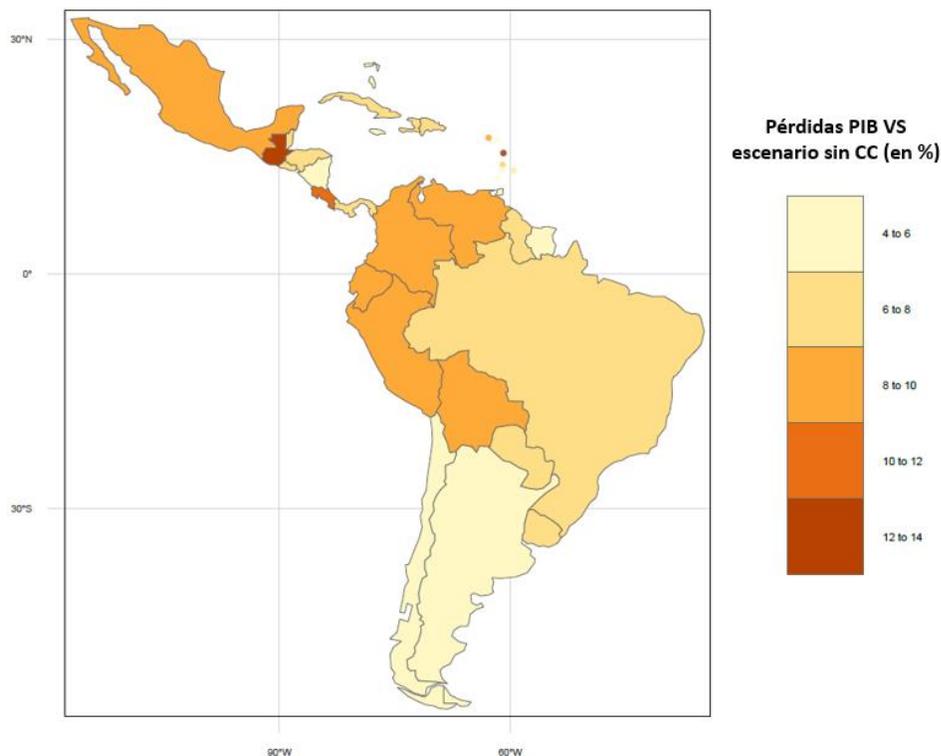
En 2100, estimamos que sin ningún esfuerzo en materia de mitigación de emisiones de GEI (SSP5.85 o RCP 8.5), el aumento de temperaturas que experimentarán los países de América Latina y el Caribe producirá una reducción del PIB regional de casi un 8% en comparación a un escenario en el cual las temperaturas se mantienen en el nivel del periodo 1970-2020. También resulta interesante ver que incluso en el escenario SSP1.19 de menor calentamiento —que implica alcanzar la neutralidad carbono a nivel global alrededor del 2050— el PIB de la región estará un 2% por debajo de lo que estaría en un escenario sin cambio climático. Por otro lado, si en los próximos años se alcanzan las metas de reducción de emisiones asumidas a nivel internacional mediante las Contribuciones Nacionalmente Determinadas y las Estrategias de Largo Plazo, los impactos potenciales del cambio climático para la región ALC se situarán alrededor del escenario ssp2.45, es decir en casi un 3% de desviación del PIB para 2100.

Cabe destacar que en 2018 América Latina y el Caribe produjo aproximadamente el 8% de las emisiones globales (es decir, 3.9 Gigatoneladas de CO₂ equivalente de GEI). Esto implica que las trayectorias de descarbonización de los países de la región por sí solas tienen un impacto marginal limitado sobre los escenarios de calentamiento global y las pérdidas asociadas que sufrirán los países de la región. Dicho de otra forma, para reducir la magnitud de las pérdidas potenciales asociadas a un aumento de temperatura en los países de ALC se requiere de un aumento de la ambición climática que vaya más allá de la región. Alcanzar una trayectoria de emisiones globales cercana al escenario ssp1.19 requiere de una

acción colectiva sostenida y una fuerte cooperación internacional. Sin esto, los países de ALC solo tiene un margen de maniobra limitado para limitar el impacto económico del alza de temperaturas. Finalmente, cabe destacar que la inercia climática hace que los impactos del aumento de las temperaturas ya empezarán a tener efectos económicos en los próximos años incluso si se detuvieran por completos las emisiones en el muy corto plazo. De hecho, las diferencias de impacto entre escenarios de emisiones empiezan a materializarse a partir del año 2040 y se incrementarán conforme las emisiones de GEI se concentren en la atmosfera y se produzca el nivel de calentamiento asociado.

Finalmente, es importante recalcar que los impactos agregados a nivel regional son fuertemente diferenciados entre países. Estas diferencias son debidas a las diferencias en los aumentos de temperaturas que se proyectan para cada país y pueden apreciarse el mapa 2. Guatemala es el país con el impacto proyectado más importante, con una desviación de su PIB superior al 12% para el año 2099 en el escenario SSP5.85, mientras que para Chile o Argentina se proyectan impactos en torno al 5% del PIB. El anexo 1 presenta los resultados detallados de estas proyecciones en cada SSP considerado.

Mapa 2
Desviación del PIB de los países de ALC en 2099 en el escenario SSP5.85 vs. escenario sin cambio climático



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las proyecciones del SSP5.85.

VI. Consideraciones finales

Este estudio usa modelos de panel con efectos fijos para evaluar el impacto causal de las fluctuaciones de temperatura y precipitaciones sobre el desempeño económico. Usando observaciones históricas de 33 países de la región durante el periodo 1970-2020, los resultados indican que, en promedio, para los países de América Latina y el Caribe, un aumento de 1°C en la temperatura media anual disminuye la tasa de crecimiento del PIB/cápita en 1,06 puntos porcentuales (p.p.). Entre 1970 y 2020 el PIB per cápita de los países de la región ha crecido en promedio un 1,51% por año, lo cual implica que, con una temperatura anual promedio 1°C más caliente, la tasa de crecimiento histórica anual se hubiese reducido de más de 2/3 (i.e. 1,51-1,06).

Las estimaciones econométricas también evidencian que los efectos adversos de un incremento de las temperaturas en un año dado persisten el año siguiente y no se revierten en el medio plazo. Esto es, prevalecen los efectos de crecimiento sobre los efectos de nivel, lo cual podría llevar a una intensificación de los impactos asociados al alza de temperaturas en escenarios de aumentos continuos de las temperaturas. Finalmente, la investigación llevada a cabo en este informe no encontró evidencia de que los países más ricos de la región son significativamente menos vulnerables al calentamiento, ni que la experiencia con altas temperaturas o los avances tecnológicos ocurridos desde los 1970 han alterado la respuesta del PIB a la temperatura. Esto significa que, hasta ahora, en vez de fomentar una mayor adaptación al cambio climático, las trayectorias de crecimiento observadas en ALC durante las últimas décadas podrían haber resultado en una acumulación creciente de vulnerabilidades climáticas que exacerbarán aún más el impacto económico del aumento de las temperaturas a futuro.

Los análisis a nivel de ciudad usando datos provenientes de las luces nocturnas captadas mediante satélites también corroboran efectos adversos de las temperaturas sobre la actividad económica local. Asimismo, la mayor desagregación espaciotemporal de estos datos revela que las lluvias torrenciales pueden generar una reducción del crecimiento de las luces nocturnas que se asocia al impacto económico de las inundaciones urbanas. Estos resultados en zonas urbanas confirman que los impactos climáticos no se limitan al sector agrícola, sino que afectan al conjunto del sistema productivo, incluyendo los sectores industriales y de servicio. Más importante aún, estos impactos a nivel de ciudad se asemejan a shocks por

eventos climáticos extremos y tienen que ser vistos como —por lo menos parcialmente— complementarios y no sustitutivos a los impactos de un aumento paulatino de las temperaturas.

Finalmente, el informe usa las estimaciones empíricas del impacto causal de las temperaturas sobre el PIB/cápita para proyectar las pérdidas asociadas al alza de las temperaturas en varios escenarios de emisiones de GEI a nivel global. Es importante puntualizar que estas proyecciones usan únicamente la relación PIB-temperatura y corresponden a una estimación mínima de los efectos del cambio climático ya que excluyen el conjunto de efectos asociados a, por ejemplo, eventos climáticos extremos, subida del nivel del mar o incluso los *tipping points* climáticos que podrían cambiar radicalmente la magnitud de los impactos presentados. Estas proyecciones solo se usan para ilustrar el impacto para la región ALC que podrían tener diferentes políticas de reducción de emisiones de GEI a nivel global. En este sentido las proyecciones sugieren que, en 2100, el aumento de temperaturas podría producir una reducción del PIB regional de entre un 2% (escenario con fuerte reducción de GEI a nivel global) y un 8% (escenario con ningún esfuerzo colectivo de mitigación de GEI) en comparación a un escenario en el cual las temperaturas se mantienen en el nivel del periodo 1970-2020.

En definitiva, para reducir sustancialmente la magnitud de las pérdidas potenciales asociadas a un aumento de temperatura los países de ALC requieren de dos tipos de políticas complementarias. Primero, a nivel global, una acción colectiva sostenida y una fuerte cooperación internacional más allá de la región son necesarias para mantener el aumento de las temperaturas “muy por debajo de los 2°C”. Segundo, los países de ALC pueden reducir el impacto del alza de las temperaturas promoviendo modelos de desarrollo más resilientes a los nuevos patrones climáticos que se están materializando. Esto no será posible sin un cambio estructural que reduzca tanto la exposición como la vulnerabilidad y sensibilidad del sistema productivo a temperaturas más altas y precipitaciones más erráticas. Este cambio estructural requiere, por lo tanto, de un conjunto coordinado de políticas públicas y fuentes de financiamiento adecuadas. Cabe concluir recordando que mejorar la adaptación al cambio climático será posible siempre y cuando las desregulaciones del sistema climático sean limitadas, lo cual requiere de esfuerzos de reducción de emisiones rápidos y ambiciosos y subraya la necesidad de desarrollar un enfoque integral que abarque tanto la mitigación como la adaptación con el fin de redefinir las trayectorias de desarrollo del siglo XXI.

Bibliografía

- Acemoglu, Daron, Simon Johnson, and James A. Robinson (2001). "The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation." *American Economic Review* 91 (5): 1369-1401.
- Acemoglu, Daron, Simon Johnson, and James A. Robinson (2002). "Reversal of Fortune: Geography and Institutions in the Making of the Modern World Income Distribution." *Quarterly Journal of Economics* 117 (4): 1231-94.
- Anuska J., R. O'Sullivan, V. Taraz (2020). "Temperature and economic activity: evidence from India". *Journal of Environmental Economics and Policy* 9:4, 430-446.
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M. & Shapiro, J. S. 2016. Adapting to climate change: The remarkable decline in the us temperature-mortality relationship over the twentieth century. *Journal of Political Economy* 124, 105-159 (2016).
- Bluhm, R. McCord, G.C. (2022). "What Can We Learn from Nighttime Lights for Small Geographies? Measurement Errors and Heterogeneous Elasticities". *Remote Sensing*. 2022, 14, 1190. <https://doi.org/10.3390/rs14051190>.
- Burke, M. and V. Tanutama (2020). Climatic constraints on aggregate economic output, NBER working paper 25779, National Bureau of Economic Research (NBER).
- Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. (2015). "Global non-linear effect of temperature on economic production", *Nature*, vol. 527, No. 7577, noviembre.
- Cameron, A. Colin, Jonah B. Gelbach, and Douglas L. Miller (2011). Robust Inference with Multiway Clustering. *Journal of Business and Economic Statistics* 29 (2): 238-49.
- Chen X., Nordhaus W. (2015) "A Test of the New VIIRS Lights Data Set: Population and Economic Output in Africa", *Remote Sensing*, 2015, 7, 4937-4947; doi:10.3390/rs70404937.
- Damania, R., S. Desbureaux and E. Zaveri (2020). "Does rainfall matter for economic growth? Evidence from global sub-national data", *Journal of Environmental Economics and Management*, 102.
- Del Valle, A., Eriksson, M., Ishizawa Escudero, O.A. and Miranda, J.J., (2020). "Mangroves protect coastal economic activity from hurricanes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Jan 2020, 117 (1) 265-270; DOI: 10.1073/pnas.1911617116.
- Dell, M., Benjamin F. Jones, and Benjamin A. Olken (2009). "Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates." *American Economic Review* 99 (2): 198-204.

- Deschenes, O., and M. Greenstone (2007). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *American Economic Review* 97:354–85.
- Dijkstra, L. Florczyk, A. J. Freire, S. Kemper, T. Melchiorri, M. Pesaresi, M. Schiavina, M. (2020). Applying the Degree of Urbanisation to the globe: A new harmonised definition reveals a different picture of global urbanisation. *Journal of Urban Economics*, 103312, <https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103312>.
- Elliott, Robert J.R., Strobl, Eric, Sun Puyang (2015), "The local impact of typhoons on economic activity in China: A view from outer space", *Journal of Urban Economics*, Volume 88, 2015, Pages 50-66, ISSN 0094-1190, <https://doi.org/10.1016/j.jue.2015.05.001>.
- Gibson J., Olivia S., Boe-Gibson G., Li C. (2021). "Which night lights data should we use in economics, and where"? *Journal of Development Economics*, Volume 149, 2021, 102602, ISSN 0304-3878, <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102602>.
- Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2014). "Temperature and the allocation of time: Implications for climate change". *J. Labor Econ.* 13, 1–26.
- Henderson, J. V., A. Storeygard, and D.N. Weil (2011). "A Bright Idea for Measuring Economic Growth." *American Economic Review* 101 (3): 194–99.
- (2012). "Measuring Economic Growth from Outer Space." *American Economic Review* 102 (2): 994–1028.
- Heyes, A. & Saberian, S. (2018). "Temperature and decisions: evidence from 207,000 court cases". *American Economic Journal: Applied Economics* (2018).
- Hsiang, S. M. (2010). "Temperatures and cyclones strongly associated with economic production in the Caribbean and Central America". *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 15367–15372.
- Hsiang, S. M. (2016). Climate econometrics. *Annual Review of Resource Economics* 8:43–75.
- IPCC, (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., N. C. Ng, M. Pesaran, H., Raissi M. and Yang J.C.. 2019. Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis, IMF Working Paper Fiscal Affairs Department, WP/19/215.
- Kalkuhl, M. and L. Wenz, (2020), The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions, *Journal of Environmental Economics and Management*, 103.
- Lenton Timothy M., Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen & Hans Joachim Schellnhuber (2019). Climate tipping points — too risky to bet against, *Nature* 575, 592-595 (2019), doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>.
- López Feldman, Alejandro J.; Hernández Cortés, Danae (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, vol. LXXXIII(4), núm. 332, Octubre-Diciembre, (2016), pp. 459-496. Fondo de Cultura Económica. DOI: 0.20430/ete.v83j332.231
- Mohan, P. and Strobl, E., (2017), "The Short-Term Economic Impact of Tropical Cyclone Pam: An Analysis using VIIRS Nightlight Satellite Imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 38, pp. 5992-6006.
- Nordhaus, W. D. (2006). Geography and macroeconomics: new data and new findings. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 103, 3510–3517 (2006).
- Riahi et al. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, Volume 42, 2017, Pages 153-168, ISSN 0959-3780, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Rodrik, Dani, Arvind Subramanian, and Francesco Trebbi (2004). "Institutions Rule: The Primacy of Institutions over Geography and Integration in Economic Development." *Journal of Economic Growth* 9 (2): 131–65.
- Romer, C. D. & Romer, D. H. (2010). The macroeconomic effects of tax changes: Estimates based on a new measure of fiscal shocks. *The American Economic Review* 763–801 (2010).
- Sachs, Jeffrey D. (2003). "Institutions Don't Rule: Direct Effects of Geography on Per Capita Income." National Bureau of Economic Research Working Paper 9490.

- Sachs, J., and Andrew Warner (1997). "Sources of Slow Growth in African Economies." *Journal of African Economies* 6 (3): 335–76.
- Sachs, J., and Pia M. (2002). "The Economic and Social Burden of Malaria." *Nature* 415 (6872): 680–85.
- Samaniego, J., Alatorre, J. E., Van der Borght, R., Ferrer, J. (2022). Panorama de las actualizaciones de las contribuciones determinadas a nivel nacional de cara a la COP 26. LC/TS.2021/190, CEPAL, Santiago Chile.
- Schlenker, W. & Roberts, M. J.(2009). Non-linear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 15594–15598.
- Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- UN Statistical Commission (2020). 51st Session. A recommendation on the method to delineate cities, urban and rural areas for international statistical comparisons. Retrieved from: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/>.
- Van Der Borght, R., Samaniego, J., Alatorre, J. E. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza: el potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica. LC/TS.2021/136, CEPAL, Santiago, Chile.
- Zhang, P., Deschenes, O., Meng, K. & Zhang, J. (2018). "Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million Chinese manufacturing plants". *Journal of Environmental Economics and Management* 88, 1–17 (2018).

Anexos

Anexo 1

Data complementaria

Cuadro A1
Resumen estadístico de las variables de interés

País	Número de observaciones	Temperatura		Precipitación		PIB/Per cápita. 2010-2020, (En millones de dólares de 2010)
		Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	
Antigua y Barbuda	43	26,32	0,41	205,59	27,00	13 597
Argentina	60	17,25	0,36	74,93	9,95	10 243
Bahamas	60	25,13	0,51	110,35	14,98	27 789
Barbados	46	26,49	0,42	171,79	24,99	15 649
Belice	60	25,70	0,43	158,91	20,55	4 182
Bolivia (Estado plurinacional de)	60	16,50	0,37	70,65	8,53	2 337
Brasil	60	23,03	0,47	123,14	8,69	11 374
Chile	60	12,70	0,38	51,57	15,42	14 492
Colombia	60	20,49	0,40	154,68	20,12	7 388
Costa Rica	60	22,04	0,39	281,14	30,13	9 411
Cuba	49	25,50	0,46	112,41	15,46	6 417
Dominica	43	21,57	0,42	304,90	43,18	6 756
Ecuador	60	19,90	0,47	112,84	27,84	5 137
El Salvador	55	24,58	0,45	142,07	20,18	3 321
Granada	43	26,95	0,42	128,40	14,67	8 133
Guatemala	60	20,63	0,47	227,45	25,48	3 147
Guyana	60	26,68	0,32	214,50	32,91	5 735
Haití	60	24,94	0,41	111,56	20,47	1 245
Honduras	60	23,70	0,43	155,47	20,12	2 078
Jamaica	54	25,24	0,42	174,04	42,00	4 722
México	60	19,37	0,42	79,53	6,71	9 918
Nicaragua	60	24,86	0,42	148,67	16,23	1 778
Panamá	60	25,29	0,36	206,00	10,34	10 543
Paraguay	60	22,23	0,51	125,56	19,72	4 957
Perú	60	15,92	0,42	66,85	7,36	6 024
República Dominicana	60	24,59	0,37	119,73	18,08	6 771
St. Kitts y Nevis	43	24,81	0,42	180,54	27,22	16 307
Santa Lucía	43	25,06	0,42	203,53	27,90	8 732
WG	60	27,12	0,42	133,88	17,20	6 593
Suriname	60	26,87	0,30	179,81	25,14	8 338
Trinidad y Tabago	60	26,01	0,38	148,66	17,92	15 826
Uruguay	60	17,15	0,38	97,01	17,01	13 746
Venezuela (República Bolivariana de) ^a	54	24,57	0,45	100,56	14,91	14 416

Fuente: Elaboración propia.

^a GDP Información disponible solo hasta 2014.

Cuadro A2
Desviación del PIB en 2099 por SSP vs un escenario sin aumento de las temperaturas

País	ssp119	ssp126	ssp245	ssp585
Antigua y Barbuda	-0,75744	-1,37258	-2,48282	-4,78
Argentina	-0,83771	-1,58931	-3,09859	-5,74197
Bahamas	-0,27645	-0,9959	-2,31890	-4,6097
Barbados	-1,0499	-1,71227	-2,86788	-5,03592
Belice	-0,71655	-1,41005	-3,22519	-6,48739
Bolivia (Estado plurinacional de)	-3,47549	-4,42292	-6,49156	-9,90034
Brasil	-1,43127	-2,20743	-3,82215	-7,00414
Chile	-0,43118	-1,19847	-2,79867	-5,74132
Colombia	-2,10695	-3,09066	-4,78099	-8,02865
Costa Rica	-6,05315	-6,76858	-8,06563	-10,9036
Cuba	-1,19809	-1,92302	-3,33612	-6,08998
Dominica	-6,63480	-7,22985	-8,38604	-10,38220
República Dominicana	-1,07320	-1,82548	-3,26385	-6,03338
Ecuador	-4,79176	-5,64598	-7,19783	-9,96214
El Salvador	-0,33894	-1,15571	-3,01596	-6,41122
Granada	-0,53377	-1,16534	-2,44145	-4,57967
Guatemala	-6,58131	-7,31900	-8,98555	-12,0068
Guyana	-0,82577	-1,72044	-3,25590	-6,05827
Haití	-1,64719	-2,46898	-4,04040	-6,83356
Honduras	-1,24895	-1,95567	-3,73903	-7,05136
Jamaica	-1,18981	-1,84366	-3,20693	-5,58988
México	-2,86573	-3,74038	-5,60754	-8,95999
Nicaragua	0,07538	-0,71965	-2,40290	-5,96829
Panamá	-1,90036	-2,77006	-3,97979	-6,77522
Paraguay	-0,95238	-1,94553	-3,95783	-7,13790
Perú	-2,49532	-3,49892	-5,27014	-8,39249
St. Kitts y Nevis	-3,13707	-3,73675	-4,82875	-7,06987
St. Lucía	-3,00285	-3,65242	-4,85782	-6,8881
SVG	-0,2572	0,92374	-2,08474	-4,27468
Suriname	-0,5136	0,92374	-2,08474	-4,27468
Trinidad y Tabago	-1,33477	-2,03051	-3,29618	-5,59227
Uruguay	-2,12772	-2,78810	-4,18177	-6,74433
Venezuela (República Bolivariana de)	-2,62446	-3,64910	-5,32766	-8,50755

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Pruebas de robustez

Con el fin de comprobar la robustez de las estimaciones reportadas en este informe se llevaron a cabo extensas pruebas que se resumen a continuación. El cuadro A3 analiza primero la sensibilidad de los resultados a diferentes efectos fijos: la columna 1 usa la ecuación 2 únicamente con efectos fijos por país mientras que la columna 2 usa efectos fijos por país y efectos fijos por año. En ambos casos, se sigue rechazando la hipótesis de no linealidad del impacto de la temperatura en la actividad económica. La columna 3 usa efectos fijos por país y por año (en vez de efectos fijos temporales interactuados con las 3 subregiones como en nuestra especificación de referencia de la ecuación (1) y confirma que la relación negativa y significativa es robusta a la inclusión de diferentes tendencias temporales. Con el fin de comprobar la sensibilidad de nuestro coeficiente a los dos países más grandes de la región, las columnas 4 y 5 eliminan primero México y luego Brasil sin que la magnitud del coeficiente asociado a las temperaturas sea sensiblemente alterada. La columna 6 estima nuestro modelo de referencia sin Venezuela para comprobar que una serie de PIB interrumpida en los años más cálidos del análisis no sesgue nuestra estimación¹⁹. Para las columnas 3 a 6 también se repitieron las estimaciones agrupando los errores estándar a nivel de país en vez del agrupamiento bidireccional sugerido por las pruebas estadísticas estándares, sin que esto modifique sustancialmente la significativa de nuestros coeficientes. Finalmente, la columna 7 agrega la primera diferencia de las temperaturas para capturar el impacto de la variabilidad interanual de las temperaturas y comprobar que el impacto de la variación de las temperaturas en la actividad económica no sea condicionado por la variabilidad interanual de las temperaturas. Los resultados sugieren que el efecto de la variabilidad interanual no es estadísticamente significativo y que incluso las variaciones anuales de temperatura podrían tener un impacto más importante cuando se toma en cuenta la variabilidad interanual. El cuadro A4 usa datos climáticos promediados por áreas geográficas (en vez de promediados por población) para evaluar la sensibilidad de los coeficientes a diferentes datos de temperatura. Las especificaciones de las columnas 1 a 5 son las mismas que las indicadas en el cuadro A3 y confirman los resultados anteriores sin que el impacto de la temperatura cambie significativamente.

¹⁹ El último dato de PIB disponible para Venezuela es de 2014.

Cuadro A3
Pruebas de robustez a elección de efectos fijos, omisión de países y variabilidad interanual

	<i>Variable Dependientes</i>						
	Crecimiento PIB per cápita						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Temperatura ponderada por población	0,34 (1,29)	1,28 (1,42)	-0,85** (0,41)	-0,96** (0,40)	-0,94** (0,41)	-0,87** (0,40)	-1,43*** (0,48)
Temperatura ponderada por población al cuadrado	-0,04 (0,03)	-0,05* (0,03)					
Precipitación ponderada por población	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,004 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)
Precipitación ponderada por población al cuadrado	-0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)					
Diferencia de Temperatura ponderada por población							0,66 (0,46)
Crecimiento del PIB per cápita t-1	0,35*** (0,04)	0,32*** (0,04)	0,32*** (0,04)	0,28*** (0,05)	0,28*** (0,05)	0,29*** (0,05)	0,28*** (0,05)
Observaciones:	1 623	1 623	1 623	1 572	1 572	1 578	1 630
R ²	0,12	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07
R ² ajustada	0,10	0,04	0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
Estadístico F	42,01*** (df = 5; 1 585)	31,55*** (df = 5; 1 535)	52,07*** (df = 3; 1 537)	36,60*** (df = 3; 1 385)	35,74*** (df = 3; 1 385)	38,47*** (df = 3; 1 391)	28,78*** (df = 4; 1 434)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

Cuadro A4
Pruebas de robustez con datos climáticos promediados por áreas geográficas

	<i>Variable Dependientes</i>				
	Crecimiento PIB per cápita				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Temperatura ponderada por población	-0,56 (1,18)	0,77 (1,21)	-0,76* (0,44)	-0,91** (0,45)	-0,91** (0,45)
Temperatura ponderada por población al cuadrado	-0,02 (0,03)	-0,03 (0,02)			
Precipitación ponderada por población	0,03* (0,01)	0,02 (0,02)	0,003 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)
Precipitación ponderada por población al cuadrado	-0,0000 (0,0000)	-0,0000 (0,0000)			
Crecimiento del PIB per cápita t-1	0,35*** (0,04)	0,32*** (0,04)	0,32*** (0,04)	0,28*** (0,05)	0,28*** (0,05)
Observaciones:	1 623	1 623	1 623	1 572	1 572
R ²	0,12	0,09	0,09	0,07	0,07
R ² ajustada	0,10	0,04	0,04	-0,05	-0,05
Estadístico F	41,92*** (df = 5; 1 585)	31,26*** (df = 5; 1 535)	51,69*** (df = 3; 1 537)	36,27*** (df = 3; 1 385)	35,44*** (df = 3; 1 385)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

El cuadro A5 a continuación ofrece los detalles de las regresiones que exploran el impacto diferenciado que podrían tener las temperaturas en base al clima o la vulnerabilidad climática de un país. La columna 1 interactúa el efecto de las temperaturas con una *dummy* de país caliente definido como un país con una temperatura promedio antes de 1990 superior a la mediana de la región (i.e. 24.31°C). La columna 2 interactúa las temperaturas con una *dummy* de vulnerabilidad definida como los países con un PIB/cápita por debajo de la mediana de la región y la columna 3 incluye los dos términos de interacción simultáneamente. Se usaron diferentes límites para definir las categorías de países vulnerables y calientes sin que esto altere los resultados o la significatividad de los mismos. Sin embargo, las columnas 4 y 5 exploran esta diferenciación de impacto usando datos continuos en vez de dummies: la variable de temperatura anual es por lo tanto interactuada con el promedio de temperaturas del país durante el periodo 1961-1990 y con el nivel de PIB/cápita promedio durante el periodo 1970-1990. En ambos casos los coeficientes asociados a estos términos de interacción no son significativos y sugieren que la heterogeneidad de impactos identificada es muy tenue.

Cuadro A5
Heterogeneidad de impactos en base a la vulnerabilidad o la temperatura de los países

	<i>Variable Dependientes</i>				
	Crecimiento PIB per cápita				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Temperatura ponderada por población	-1,07*** (0,39)	-1,07*** (0,40)	-1,07*** (0,40)	0,06 (2,47)	-0,68 (0,62)
Precipitación ponderada por población	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)
Interacción Temperatura con países cálidos	0,01 (0,03)		0,004 (0,03)		
Interacción Temperatura con países vulnerables		-0,04* (0,02)	-0,04* (0,02)		
Interacción Temperatura con Temperatura promedio (1961-1990)				-0,05 (0,12)	
Interacción Temperatura con Crecimiento del PIB per cápita (1970-1990)					-0,0001 (0,0001)
Observaciones:	1 630	1 630	1 630	1 630	1 630
Estadístico F	2,28* (df = 3; 1 442)	4,19*** (df = 3; 1 442)	3,15** (df = 4; 1 441)	2,37* (df = 3; 1 442)	2,67** (df = 3; 1 442)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

Finalmente, presentamos los resultados ilustrados en el gráfico 10 del informe en la que se estima el impacto de las variables climáticas sobre el crecimiento económico por periodos separados. El cuadro A6 de la izquierda usa los periodos 1970-1990 vs 1991-2020 mientras que la de la derecha usa los periodos 1970-1994 VS 1995-2020 sin que esto altere los resultados sensiblemente.

Cuadro A6
Resultados de las estimaciones por períodos separados

	<i>Variable Dependiente</i>		<i>Variable Dependiente</i>	
	Crecimiento PIB per cápita 1970-1990 vs. 1991-2020		Crecimiento PIB per cápita 1970-1994 vs. 1995-2020	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Temperatura ponderada por población	-0,39 (0,71)	-1,12** (0,50)	-0,65 (0,60)	-1,15** (0,55)
Precipitación ponderada por población	-0,003 (0,01)	0,02 (0,01)	0,001 (0,01)	0,01 (0,01)
Crecimiento del PIB per cápita t-1	0,20*** (0,06)	0,26*** (0,06)	0,26*** (0,06)	0,15*** (0,06)
Observaciones:	640	983	772	851
Estadístico F	7,75*** (df = 3; 542)	20,52*** (df = 3; 858)	15,71*** (df = 3; 662)	7,13*** (df = 3; 738)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

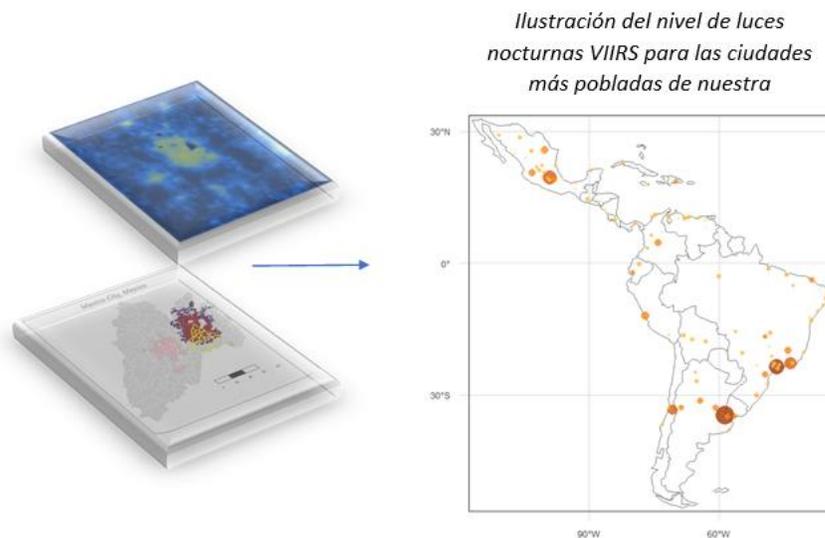
Anexo 3

Análisis climático a nivel de ciudad

1. Actividad económica a nivel de ciudad

Para analizar el impacto del clima sobre la actividad económica a nivel ciudad, definimos las ciudades según el grado de urbanización y sumamos las luces nocturnas VIIRS dentro de los límites espaciales de cada ciudad. Este proceso se describe en el cuerpo del informe y se ilustra en el mapa A1 más abajo. Estas luces mensuales son luego agregadas por trimestre para reducir su alta volatilidad intermensual.

Mapa A1
Sobre NTL en ciudades para la región ALC



Fuente: Elaboración propia.

Para asegurarse de que las luces nocturnas VIIRS en ciudades de la región representen un proxy aceptable del nivel de actividad económica, las comparamos con los datos de PIB tradicionales usados en el resto del informe. Para ello, agregamos primero la serie de luces en zonas urbanas a nivel de país/año, sumando los datos de cada ciudad para cada año entre el 2013 y el 2021. Usamos luego la ecuación siguiente:

$$\ln \text{PIB}_{it} = \alpha + \beta_{\text{NTL}} \ln (\text{NTL}_{it}) + \varepsilon_{it}$$

Estimamos esta relación con MCO y errores estándares robustos. El coeficiente β es estimado en 0.88 con un error estándar de 0.02, sugiriendo una relación positiva y altamente significativa entre las dos variables. Con un R^2 de 0.9 el poder explicativo de nuestra especificación también es muy alto (cuadro A7). La columna 2 de la tabla más abajo repite esta estimación con las variables en nivel y comprueba la robustez de esta relación. Cabe señalar que no pretendemos aquí establecer una relación causal entre variables, sino que buscamos sencillamente un factor de conversión entre ellas. Para asegurarnos de que este modelo permita obtener un factor de conversión adecuado entre PIB y NTL, graficamos el PIB proporcionado por la base de datos WDI del Banco Mundial contra el PIB predicho mediante la regresión lineal explicitada en la ecuación más arriba. Como puede observarse en el gráfico 6 del cuerpo del informe, la mayoría de los puntos están cerca de la línea de 45°, revelando un buen ajuste y un modelo que produce estimaciones del PIB aceptables.

Cuadro A7
Relación PIB VS NTL urbanos en ALC, 2013-2021

	<i>Variable Dependiente</i>	
	Log PIB	PIB <i>(En millones de dólares de 2010)</i>
	(1)	(2)
Log Night Time Lights	0,88*** (0,02)	
Night Time Lights		0,16*** (0,003)
Constante	13,62*** (0,27)	-5 304,00 (11 286,73)
Observaciones:	191	191
R ²	0,90	0,92
R ² Ajustada	0,90	0,92
RSS (df = 189)	0,51	140 929,50
Estadístico F (df =1 ; 189)	1 766,93***	2 321,67***

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

2. Patrones climáticos a nivel de ciudad

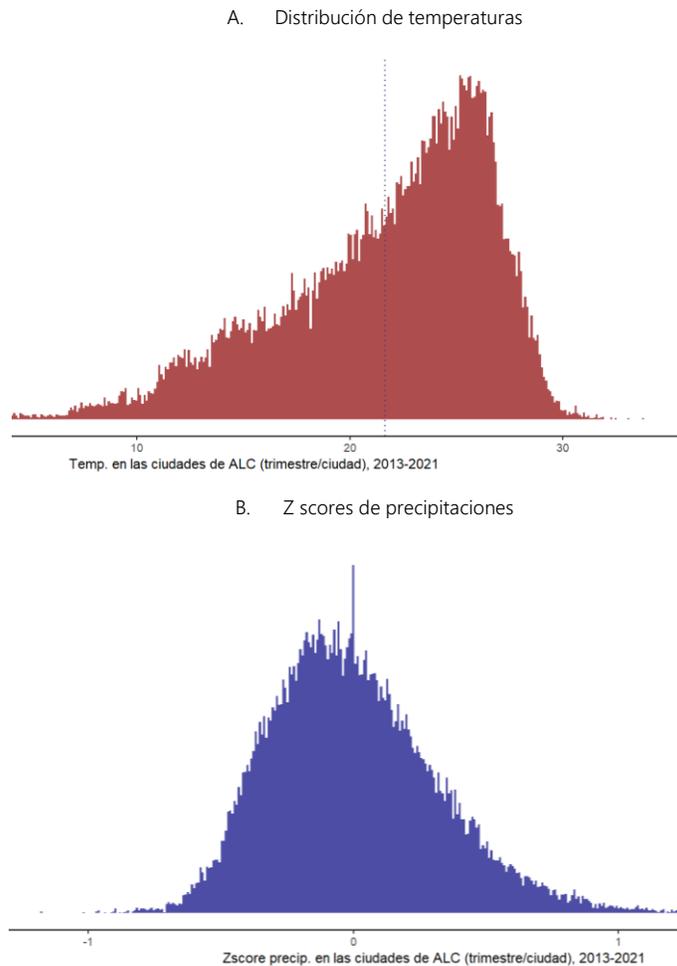
Las temperaturas a nivel de ciudad son obtenidas a través de una extracción de las temperaturas del ERA5 Land del servicio Copernicus, promediando los datos de cada cuadrícula que se superpone a los límites de las ciudades definidas según el grado de urbanización. La distribución de estas temperaturas a nivel de ciudad es muy similar a las de las temperaturas por países, aunque es de notar que, a diferencia de lo que pasa con la escala nacional, las temperaturas máximas están por encima de los 30°C (gráfico A1).

Las precipitaciones a nivel de ciudad provienen de la serie CHIRPS de la NOAA y exhiben una heterogeneidad espacial y temporal mucho más alta que las temperaturas. Según el trimestre y la ciudad considerada, un mismo nivel de precipitación puede representar un nivel muy por encima/debajo de lo que usualmente se recibe en esta ciudad/trimestre. Un nivel absoluto de precipitaciones de, por ejemplo, 60 mm/trimestre puede indicar situaciones de exceso/falta de agua según el contexto espaciotemporal considerado. Por ello, seguimos una técnica tradicional en análisis meteorológicos y normalizamos los datos de precipitaciones según la fórmula estadística del Z-score detallada a continuación:

$$Z_{m,j} = \frac{Rain_{m,j} - \overline{Rain}_{m,j}}{\sqrt{\frac{1}{M} \sum_M (Rain_{m,j} - \overline{Rain}_{m,j})^2}}$$

Donde $Rain_{m,j}$ es la precipitación del trimestre m , en la ciudad j y $\overline{Rain}_{m,j}$ es el promedio de precipitación en el trimestre m en la ciudad j durante 2013-2021. El Z-score es por lo tanto la diferencia entre la precipitación un trimestre/ciudad dado y el promedio de precipitaciones de este trimestre/ciudad, medido en términos de desviación estándar. Dicho de otra forma, el Z-score nos indica que tan "extrema" es la precipitación registrada relativo a la distribución de lluvias en el trimestre/ciudad correspondiente. Este enfoque permite tomar en cuenta la pluviometría específica de cada territorio y se lee de la siguiente manera: un Z-score por encima de 1 indica un trimestre/ciudad con precipitaciones una desviación estándar por encima del promedio de las precipitaciones en este trimestre/ciudad.

Gráfico A1
Distribución de temperaturas y Z scores de precipitaciones en ALC a nivel de ciudad/trimestre, 2013-2021



Fuente: Elaboración propia.

3. Regresiones

Usando nuestro panel de casi 36,000 observaciones, estimamos la ecuación (1) descrita en el informe primero sin incluir rezagos. Los resultados indican un efecto contemporáneo positivo de un alza de temperatura mientras que unas precipitaciones por encima del promedio reducen la actividad económica local. Por otro lado, al incluir el término al cuadrado de las variables climáticas comprobamos que la relación entre NTL y temperatura podría ser no línea (columna 2 del cuadro A8). Sin embargo, el punto de inflexión a partir del cual el impacto de las temperaturas se convierte en negativo se sitúa alrededor de 37-38°C según las estimaciones de la columna 2, es decir un nivel muy por encima de las temperaturas de las ciudades de nuestra muestra.

Cuadro A8
Resultados de las regresiones principales

	<i>Variable dependiente</i>	
	Crecimiento NTL	
	(1)	(2)
Temperatura	2,43*** (0,53)	5,24*** (1,73)
Temperatura al cuadrado		-0,07** (0,03)
Precipitación Z score	-1,48** (0,75)	-1,46* (0,82)
Precipitación Z score al cuadrado		-0,15 (0,48)
Observaciones:	35 941	35 941
Estadístico F	9,05*** (df = 2; 34003)	4,91*** (df = 4; 34001)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

Cuadro A9
Resultados de las regresiones dinámica

	<i>Variable dependiente</i>
	Crecimiento NTL
Temperatura ponderada por población	2,25* (1,20)
Temperatura ponderada por población t-1	-4,61*** (1,04)
Temperatura ponderada por población t-2	-0,29 (1,01)
Temperatura ponderada por población t-3	1,68 (1,49)
Temperatura ponderada por población t-4	0,07 (1,13)
Precipitación Z Score	-1,62* (0,94)
Precipitación Z Score t-1	1,36 (1,29)
Precipitación Z Score t-2	0,39 (0,90)
Precipitación Z Score t-3	-1,40* (0,71)
Precipitación Z Score t-4	0,77 (0,56)
Observaciones:	32 860
R ²	0,003
Estadístico F (df =1 ; 189)	10,19*** (df = 10; 30 992)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01; Errores estándar robustos entre paréntesis.

En este informe se utilizan las fluctuaciones históricas de la temperatura y de las precipitaciones en América Latina y el Caribe con el fin de identificar sus efectos causales sobre el desempeño económico para el período 1970-2020. Los resultados indican que, en promedio, para los países de América Latina y el Caribe, un aumento de 1 °C en la temperatura media anual disminuye 1 punto porcentual la tasa de crecimiento del PIB per cápita y que los efectos son persistentes y no se revierten a mediano plazo. También se examinan estos impactos a nivel de las ciudades usando datos trimestrales provenientes de luces nocturnas captadas mediante satélites y se comprueba la existencia de efectos adversos asociados al alza de temperaturas. Esto confirma que el impacto de las temperaturas no se limita al sector agrícola, sino que afecta al conjunto del sistema productivo, y puede materializarse mediante choques repentinos asociados a fenómenos climáticos extremos y no solo a un aumento tendencial de las temperaturas. Por último, el informe proyecta las posibles pérdidas asociadas a diversos escenarios de alza de temperaturas y pone de manifiesto cómo una ambiciosa acción climática a nivel mundial podría reducir a un cuarto las posibles pérdidas para la región hacia 2100.