



BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ

Efectos económicos del cambio climático en el Perú

Raymundo G. Chirinos*

* Banco Central de Reserva del Perú.

DT. N°. 2021-009
Serie de Documentos de Trabajo
Working Paper series
Diciembre 2021

Los puntos de vista expresados en este documento de trabajo corresponden a los de los autores y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de Reserva del Perú.

The views expressed in this paper are those of the authors and do not reflect necessarily the position of the Central Reserve Bank of Peru

Efectos económicos del cambio climático en el Perú

Raymundo G. Chirinos*

Departamento de Políticas Sociales y Regionales

Subgerencia de Política Económica

Banco Central de Reserva del Perú

raymundo.chirinos@bcrp.gob.pe

Noviembre 2021

Resumen

En el presente documento se evalúan los efectos económicos del cambio climático en el Perú utilizando información regional sobre producción y el clima; tomando para ello las series de cuentas nacionales disponibles desde 1970 hasta 2019 y las series de temperaturas máximas y mínimas, y precipitaciones que publica el Senamhi, la cual cuenta con información desde la década de los 60 para la mayoría de regiones. Se observa que, pese a la variabilidad en los resultados de los diversos modelos, el efecto del calentamiento sobre el crecimiento económico es negativo. Se concluye que de mantenerse la tendencia de los desvíos actuales en las temperaturas, en comparación a la registrada en los últimos 30 años (o un aumento adicional de 0.5°C en la temperatura máxima o 0.3°C en la mínima), el ingreso por habitante se reduciría, en su estimación central, en alrededor de 9 por ciento hacia el año 2050 (al interior de un rango de entre 3 y 21 por ciento) y en 22 por ciento al 2100 (para un rango de entre 8 y 46 por ciento). La amplitud en el rango de estimaciones es propio de la incertidumbre que predomina en este tipo de modelos de predicción con base a los efectos del clima.

Abstract

This document assesses the economic effects of global warming in Peru by using regional data on output and climate. We use series of national accounts of the INEI available from 1970 to 2019 and series of maximum and minimum temperatures and rainfall published by the National Meteorological Office, which has information from the 1960s for most of regions. We find out that despite the high uncertainty in the models, if the current deviations in temperatures compared to the levels that prevailed between the years 1960 and 1990, maintain a similar trend, this would reduce income per inhabitant by 9 percent as of 2050 (within a range from 9 to 21 percent) and 22 percent as of 2100 (as part of a range from 8 to 46 percent). It should be noted that this wide range of forecasts is due to the inherent uncertainty in these models of climate-based effects.

Palabras clave: Cambio climático, economía peruana, data regional

Clasificación JEL: Q50, Q51, R11

*El autor desea agradecer los comentarios de Renzo Castellares (BCRP), Carlos Barrera (BCRP), Zenón Quispe (BCRP) y Rocío García (SouthSouthNorth), así como de los participantes del seminario de investigación del BCRP del viernes 28 de agosto de 2020; no obstante, las opiniones y los errores que se presenten permanecen bajo su entera responsabilidad.

1. Introducción

En los últimos 100 años, la temperatura promedio de la tierra se ha incrementado en 1.2°C , y el Perú no ha sido ajeno a este fenómeno. Solo en los últimos 30 años, las temperaturas máximas y mínimas aumentaron en 0.5°C y 0.3°C , respectivamente en comparación a las temperaturas promedio registradas entre los años 1960-1990. Así, las preocupaciones acerca del cambio climático no pueden ser ajenas a ninguna disciplina en la actualidad, puesto que se trata de un fenómeno que tiene un impacto en nuestra vida diaria y que puede desembocar en consecuencias que causen cambios drásticos en nuestro modo de producir y trabajar.

En este sentido, el presente documento aborda el tema del calentamiento global desde la perspectiva de la economía, esto es, señalando los costos en términos de las tasas de crecimiento del PBI global y sectorial, así como el del menor nivel que estas variables alcanzarían si se mantienen las tendencias recientes del aumento de las temperaturas. Para ello se emplea la información de actividad económica de cuentas nacionales a nivel regional que publica el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) desde 1970, y del clima, que es publicada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) desde 1960 para la mayoría de regiones. Los resultados muestran que los desvíos de la temperatura y/o las precipitaciones respecto a la norma (niveles promedio) prevaleciente entre los años 1960 y 1990 tendrían un impacto negativo sobre el nivel de actividad económica, siendo los sectores agropecuario y la pesca los sectores que se encuentran más expuestos a los vaivenes del clima.

Este documento contribuye a ampliar la incipiente literatura sobre los efectos del cambio climático en el Perú, donde destacan los trabajos pioneros de Vargas (2009) y BID y CEPAL (2014). Una de las ventajas del presente documento es que cuenta con más años de información para el desarrollo del análisis estadístico. Asimismo, se diferencia de Vargas (2009) no solo por hacer uso de una base de datos más extensa, sino por emplear los datos provistos por el Senamhi en el período previo a 1990 (a partir del cual empieza el análisis de Vargas). Ello permite hacer un análisis de robustez que no fue posible hacer en el anterior estudio. Un detalle adicional es que, a diferencia de Vargas (2009), se estiman efectos heterogéneos del cambio climático dada la estructura productiva de cada región y se controlan por efectos diferenciados del Fenómeno “El Niño” (FEN) a nivel regional. Con ello, si el calentamiento global continúa la tendencia de los últimos 30 años se obtendría un rango de pérdidas en los niveles del ingreso per cápita hacia el año 2050 de entre 3 y 21 por ciento (con una estimación central del 9 por ciento), cabe reconocer que la amplitud del rango de estimados refleja la incertidumbre que predomina en este tipo de modelos de predicción con base a los efectos del clima.

El resto del documento se distribuye de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan los antecedentes que marcan la relación entre el cambio climático y el interés de los economistas. La sección 3 define las métricas más usuales para medir este fenómeno y la 4 muestra su evolución en los últimos años. En la sección 5 se revisa la literatura reciente de los efectos del cambio climático sobre la economía. La sección 6 es el aporte principal del presente documento e inicia citando el incipiente número de estudios que hay para el Perú sobre el efecto económico del calentamiento, para después presentar el modelo econométrico donde se relaciona el crecimiento regional con la variación del clima y en donde cada región asume una ponderación distinta dependiendo del tamaño de su población y/o economía; también se citan las fuentes de información y los principales resultados. La sección 7 muestra las consideraciones finales sobre este tema así como las limitaciones a las que se enfrenta este estudio.

2. Antecedentes

A mediados de la primera década de este siglo, un estudio encargado por el gobierno británico al economista Nicholas Stern se constituyó en el primer llamado de alerta, desde la perspectiva económica, de un fenómeno ya advertido por los científicos desde décadas atrás, el llamado “cambio climático”.

Si bien ya existía un consenso político sobre los riesgos del cambio climático y sus efectos en las diferentes actividades de la esfera humana desde inicios de la década de los 90,¹ el mencionado

¹En mayo de 1992 se adopta en la ciudad de Nueva York la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), del cual se derivó posteriormente el Protocolo de Kioto (1997). Este acuerdo constituía un compromiso internacional (de las partes firmantes) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

estudio -más conocido como el informe Stern (*Stern Review*)- tuvo el acierto de presentar el problema de una manera clara y al alcance del público en general, elevando así el nivel de concientización pública sobre el fenómeno del calentamiento global.²

Una de las razones por las cuales se ha diferido tanto una respuesta ante esta amenaza era la creencia de que el calentamiento obedecía a fenómenos naturales o no antropogénicos (causados por el hombre). La tierra ha sufrido frecuentes cambios en su temperatura promedio debido a variaciones en la órbita del planeta respecto al sol, cambios en su inclinación y en la distancia también respecto al sol, que ocurren cada 20, 40 y 100 mil años, respectivamente, siendo estos fenómenos conocidos como los “ciclos de *Milankovitch*”.³ Así, se estima que durante la última glaciación la temperatura promedio del planeta fue 5°C menor a la actual (que es de 14°C) y que desde el inicio de la revolución industrial ésta habría registrado un incremento de más de un grado centígrado.

La siguiente gráfica muestra la serie histórica “suavizada” del desvío de la temperatura, a nivel mundial, respecto al promedio para los años 1960-1990 (ver Figura 1). Se observa que desde fines del siglo XX se habría registrado un aumento en la temperatura promedio cercano a un grado centígrado.⁴ Es importante destacar que si bien el incremento de un grado centígrado puede parecer un aumento poco significativo, el informe Stern advierte ya graves consecuencias como menores rendimientos en cultivos en países en desarrollo (exponiéndolos a hambrunas), desaparición de pequeños glaciares (con el consecuente desabastecimiento de agua) y pérdida de ecosistemas (con consecuencias que pueden resultar impredecibles).

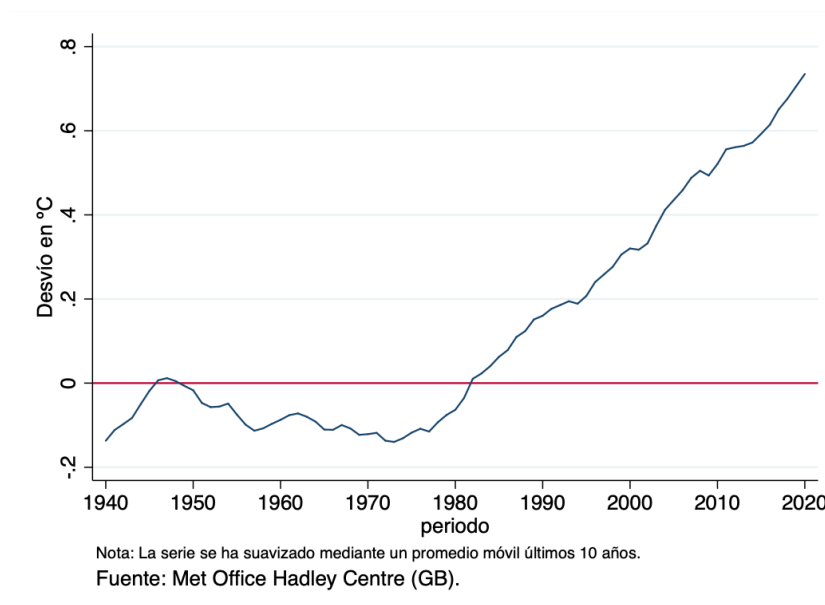


Figura 1: Desvío de la temperatura promedio en °C (Respecto al período 1960-1990)

Este incremento, debido a la velocidad con la que se viene produciendo, no responde a las causas naturales señaladas en el párrafo anterior y existe un amplio consenso en relacionarlo con la emisión de gases con efecto invernadero (GEI en adelante), fruto principalmente de la mayor actividad económica del hombre en los últimos tiempos.⁵

²En este trabajo se emplean los términos de cambio climático y calentamiento global como sinónimos, aunque el primero podría corresponder también a una situación de reducción de temperaturas como ocurrió durante la edad de hielo, lo que obviamente no representa la coyuntura actual.

³Milutin Milankovitch (1879-1958) fue un astrónomo y geofísico serbio que relacionó las edades del hielo con las variaciones de la órbita terrestre y los cambios de larga duración en el clima.

⁴Para esta medida se emplea la información provista por el *Met Office Hadley Centre* del Reino Unido. En su portal se explica que esta desviación corresponde a la diferencia de las temperaturas globales respecto al promedio de las temperaturas entre 1960 y 1990. Este último periodo de 30 años es lo que los meteorólogos denominan norma, y señala cuál fue la temperatura reinante en dichos años. Así, este gráfico muestra como consistentemente la temperatura global se aleja de la norma prevaleciente en dichos años señalando una preocupante tendencia al alza.

⁵Esta hipótesis sobre el origen antropogénico del cambio climático, en particular desde la revolución industrial, es una de las que más genera controversias en las esferas tanto científicas como políticas a nivel mundial. Una interesante, y resumida discusión de ello, se muestra en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49796247> (fecha de acceso: 29/07/20).

3. ¿Qué son los GEI?

Un paso importante para entender la relación entre la actividad económica del hombre y el cambio climático es entender que un subproducto del primero es la emisión de ciertos gases que incrementan el efecto invernadero que cumple la atmósfera.

Así, parte de la radiación que emite el sol es retenida en la tierra y en los océanos gracias a un determinado conjunto de gases existentes en la atmósfera, sin los cuales el calor generado por la radiación solar escaparía y la temperatura promedio sería de unos -18°C (en lugar de los 14°C señalados anteriormente). Este efecto es similar al generado por los techos de cristal que existen en los invernaderos y de ahí deriva su nombre. Los principales gases con esta propiedad son: el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO_2) como los más abundantes, seguidos del metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono y los clorofluorocarbonos (CFC).

Ahora bien, la procedencia de estos gases es principalmente producto de la actividad económica humana. El CO_2 proviene de la quema de combustibles fósiles en la actividad industrial y el transporte motorizado y, al igual que el metano, de la actividad ganadera, el óxido nitroso es producido por el uso de los automóviles y el uso de fertilizantes; y, los clorofluorocarbonos por los compuestos que se hallan en los aerosoles. Estos gases existen en diferentes proporciones y su capacidad de generar un efecto invernadero es también diferenciado por lo que una manera de agregarlos es hablar de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).⁶

4. ¿Cómo se traduce la concentración de estos GEI en el calentamiento global?

Se considera que la presencia de estos GEI era de 280 ppm (partes por millón) en los años previos a la revolución industrial y que en la actualidad supera las 400 ppm,⁷ según la Oficina Nacional de Meteorología de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés). Si observamos la tendencia actual de las concentraciones de CO_2e (esto es, considerando todos los gases con efecto invernadero) que se reporta en la Figura 2 y lo correlacionamos con las anomalías de la temperatura vistas en la Figura 1, se aprecia que entre ambas variables existe una correlación mayor al 90 por ciento (ver Figura 3).

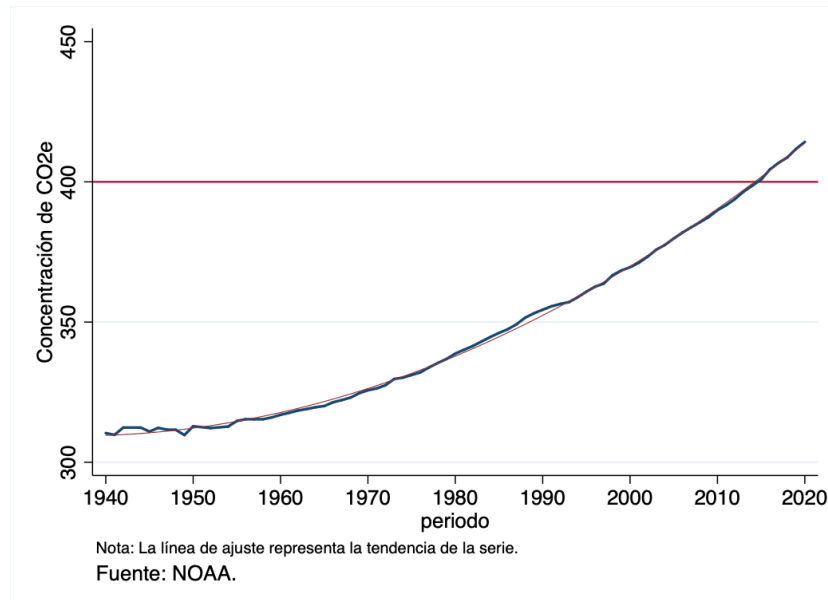


Figura 2: Concentración de CO_2e en la atmósfera (En ppm: partes por millón)

⁶El metano tiene un potencial de calentamiento de 23 veces el del CO_2 , en tanto el equivalente del N_2O es de 300 veces.

⁷A partir de 2015 se superó este umbral y en 2020 se considera un nivel de 414.2 ppm, de acuerdo a las mediciones que realiza la NOAA.

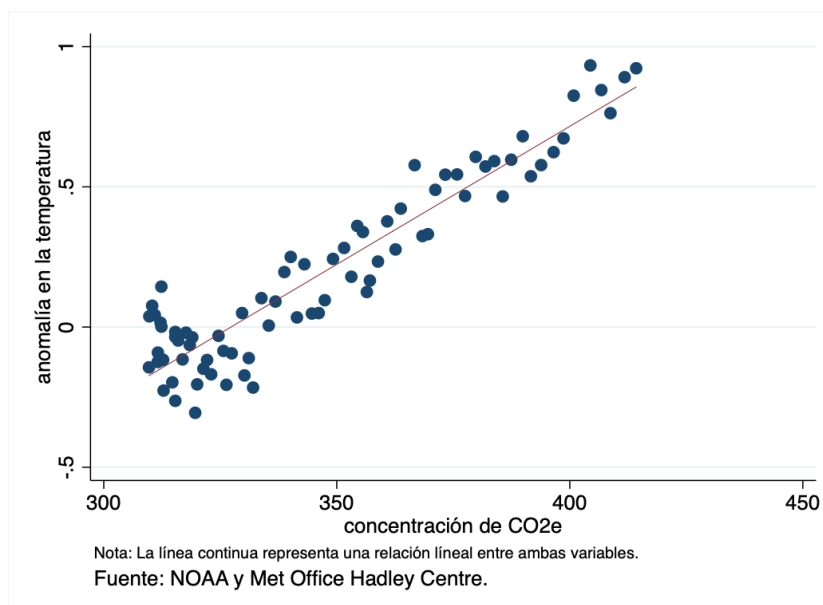


Figura 3: Anomalía en la temperatura versus concentración de CO₂e (Período 1940-2020)

Como se indicó anteriormente, la Figura 3 vincula ambas variables a través de una relación logarítmica siguiendo a Nordhaus (1992).⁸ Este modelo tiene la forma $anomalía = \alpha + \beta \times \ln(CO_2e)$ y da un ajuste similar al de un modelo lineal, esto es de la forma $anomalía = \alpha + \beta \times CO_2e$. Si empleásemos este modelo para proyectar cuál sería el valor de las anomalía hacia finales del presente siglo, siguiendo la tendencia actual de las emisiones, se alcanzarían incrementos de 2 a 3°C por encima de la norma de temperatura prevaleciente entre 1960 y 1990.⁹

A este enfoque Stern (2006) lo denomina *business as usual* (BAU) y representa los costos de no hacer nada. Anomalías de temperatura, como las señaladas líneas arriba, empeorarían las consecuencias ya señaladas de menores rendimientos en los cultivos, pérdida de glaciares e impactarían también en la deforestación de la selva amazónica, una mayor presencia de huracanes, fusión de las capas polares, generando inundaciones en las zonas costeras o la extinción de hasta un 40 por ciento de las especies de flora y fauna actuales. Según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés), ya hemos excedido el nivel considerado seguro de hasta 350 ppm en las concentraciones de CO₂e (lo que ocurrió a fines de los 80), por lo que urge tomar acciones inmediatas para estabilizar el nivel actual y llevarlos a niveles sostenibles con el medio ambiente. Cabe señalar que los expertos del IPCC consideran también que ya hemos excedido los 9 puntos de no retorno (entendido como el quiebre en el balance en zonas cruciales de riesgo para el planeta) que pondrían en peligro a la humanidad. Entre éstos puntos se cuenta el daño ocasionado a: el hielo marino del Ártico; al *permafrost* (capa de suelo permanentemente congelada); el sistema de circulación de corrientes del Atlántico; a la selva amazónica; al bosque boreal; a los corales de aguas cálidas y el hielo en las capas este y oeste de la Antártica. Así por ejemplo, continúa la deforestación de la Amazonía, lo cual a su vez refuerza el cambio climático, generando un mayor número de incendios forestales y afectando a los ecosistemas y la salud de quienes viven en las zonas aledañas, mientras que el derretimiento de las capas de hielo genera un mayor riesgo de inundación en las zonas costeras. Los expertos del IPCC ya juzgan a estos daños como de carácter irreversible.¹⁰

Si bien se indicó que las partículas que generan el calentamiento pueden subsistir durante varias décadas, razón por la cual el calentamiento global es un fenómeno originado básicamente por los países desarrollados; en los últimos años se ha visto esfuerzos de estos últimos por reducir sus emisiones. Así por ejemplo, un ciudadano de la Unión Europea generaba emisiones equivalentes a 10.3 TM de CO₂ a mediados de los años 70, mientras que al 2018 dicho nivel equivale a 6.7 TM.

⁸Este autor subraya que la relación entre emisiones de gases efecto invernadero y el calentamiento es logarítmica, es decir no lineal; de manera que la reducción en un inicio de estos gases no genera un impacto significativo sobre la temperatura.

⁹Este rango de incremento en las temperaturas promedio también es señalado en el Informe Stern.

¹⁰Ver: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50588118> (fecha de acceso: 25/09/20).

Por su parte, un estadounidense generaba 22.1 TM de emisiones de CO₂ en 1973 y al 2018, este nivel era de 16.6 TM.¹¹ De otro lado, el nivel de emisiones promedio de un ciudadano de la China o la India ha crecido en 175 y 114 por ciento, respectivamente sólo en los últimos 20 años, pero ello, sumado a sus enormes poblaciones, las convierten en dos de las naciones que más contaminan a la fecha, razón por la cual los esfuerzos para reducir las emisiones de CO₂e pasan por una agenda que priorice el comportamiento de estas dos potencias emergentes.¹²

5. ¿Cuál es el impacto económico del calentamiento?

Para referirse al impacto del calentamiento global sobre la economía, los economistas suelen utilizar el concepto de externalidad cuando un agente carga con los costos o beneficios derivados de la actividad de un tercero. El primer caso es referido como una externalidad negativa y es donde el informe Stern hace hincapié, puesto que el cambio climático ha sido generado por la emisiones de GEI de los países que hoy son desarrollados,¹³ pero generan problemas a todos los países, siendo los de menores ingresos los más expuestos. Así, las perspectivas de crecimiento de todos los países se verán comprometidas y el daño será proporcional a la intensidad con la que se dé el calentamiento.

A partir de estos enunciados se ha generado una corriente en la literatura que busca evaluar el costo en términos de crecimiento de los ingresos que generaría el cambio climático. El propio informe Stern se aventura en señalar un costo en el rango del 5-20 por ciento del consumo mundial por habitante, de no tomar ninguna acción correctiva. Dado que los costos son significativos, el propio informe señala que tomar acciones de mitigación constituiría una inversión socialmente muy rentable, pues el costo de éstas se ubicaría en torno al 1 por ciento del producto.

En ese sentido, los trabajos que evalúan el impacto del cambio climático sobre la economía emplean un análisis donde la variable dependiente es una medida sectorial o agregada del consumo y/o del producto bruto interno y es expresada en tasas de crecimiento per cápita. Esta última estaría en función de una medida del cambio climático, como lo pueden representar las anomalías en la temperatura o en las precipitaciones. Cabe precisar que estas anomalías son ponderadas por el tamaño de las poblaciones o del producto bruto interno (trátese de un país o región) a fin de reflejar la importancia relativa de cada observación. Al respecto, [Fankhauser y Tol \(2005\)](#) explica las diferencias entre los estudios de impacto sectoriales que predominaron en la década de los 90 con los enfoques agregados más recientes. Así, los estudios iniciales de los efectos del cambio climático tendían a evaluar de manera separada cada sector y después sumar sus efectos, este enfoque denominado “enumerativo” tenía el inconveniente de ignorar las interrelaciones sectoriales y temporales, por lo que se podría estar subestimando el efecto del cambio climático.

Otro enfoque consiste en el uso de modelos de equilibrio general, al cual se le incluyen los efectos del cambio climático. Como señalan [Nordhaus \(1992\)](#) y [Fankhauser y Tol \(2005\)](#), este caso es una confluencia de los modelos típicos que se emplean en la teoría del crecimiento con estimaciones simplificadas de cómo el clima puede impactar la economía. Así, se emplea básicamente como canal de transmisión la menor productividad total de los factores que la economía experimenta a raíz del cambio climático.

Finalmente, se encuentran los estudios agregados de corte empírico como el de [Dell y otros \(2008\)](#), el cual encuentra que las variaciones de temperatura y precipitaciones han tenido un impacto negativo en los países pobres y que el mismo ha sido reducido en los países industrializados (en virtud de una estructura productiva que depende menos del clima). Este trabajo considera un horizonte de análisis de 1950 a 2003 e información para 136 países, a fin de estimar un modelo de panel. El enfoque que emplea dicho trabajo consiste en explicar las diferencias de las tasas de crecimiento entre 2 sub periodos, antes y después de 1985, tomando como variable explicativa las diferencias entre las temperaturas promedios que tuvieron los países de la muestra en dichos sub periodos. Sus resultados arrojan que por cada grado centígrado en que se eleva la temperatura, el crecimiento del ingreso per cápita en los países pobres se reduce desde 1.1 hasta 3.2 puntos porcentuales, en tanto que no obtiene resultados significativamente distintos de cero cuando se analiza a

¹¹Los datos tienen como fuente al Banco Mundial (indicadores del desarrollo mundial), el cual solo está disponible a nivel de países y regiones al 2018. Si bien hay datos al 2019 de la fuente Datosmacro a nivel de país, se ha optado por mantener como fuente al primero a fin de garantizar la comparabilidad.

¹²Cabe señalar que las emisiones de CO₂ por habitante en China (7.0 TM) son ya superiores al promedio de la Unión Europea (6.7 TM), pero se han mantenido en dicho nivel durante los últimos 6 años; en tanto las de la India se ubican en sólo 2.0 TM por habitante, aunque manteniendo una tendencia creciente.

¹³Según el informe Stern, Norteamérica y Europa son responsables del 70 por ciento del total de emisiones de CO₂e.

naciones industrializadas.¹⁴ Finalmente, este trabajo explora los canales a través del cual el cambio climático impacta en un menor crecimiento, señalando aspectos como un menor rendimiento en la agricultura, así como la inestabilidad política y un empeoramiento de la salud de la fuerza laboral. Cabe señalar que este estudio reconoce la sensibilidad de sus estimaciones debido a que los datos para los países pobres tienden a tener una menor cobertura temporal (básicamente se dispone de información solo desde 1970 en adelante).

Más recientemente, [Kahn y otros \(2019\)](#) reestima estas regresiones de panel con la diferencia de que mide las anomalías respecto a la norma histórica (período de 30 años) inmediata anterior.¹⁵ Empleando datos de 174 países para los años 1960 a 2014, este estudio encuentra que sólo las anomalías en temperatura son significativas y que si este desvío se mantiene en 0.04°C al final del siglo el PBI per cápita registraría un nivel 7 por ciento menor. A diferencia del estudio anterior, no se distinguen efectos diferenciados entre países ricos y pobres y se encuentran que las políticas de mitigación, si bien generarían un costo en los siguientes años, se traducirían en un beneficio neto hacia el final del período de análisis.

6. Efectos del cambio climático para el Perú

El número de investigaciones que evalúan los impactos económicos del cambio climático en el caso particular del Perú es aún incipiente. Se dispone únicamente de los estudios de [Vargas \(2009\)](#) y del [BID y CEPAL \(2014\)](#).¹⁶ El primero emplea información regional de actividad económica y toma como variable explicativa a las desviaciones absolutas de la temperatura y nivel de precipitaciones respecto al promedio de todo el horizonte de la muestra. Esta última tiene la limitante de ser calculada en un periodo relativamente reducido (1990-2007). La autora encuentra que el cambio climático tendría un impacto acumulado superior al 20 por ciento del nivel del PBI per cápita en un período de 40 años.

Por su parte, el trabajo de [BID y CEPAL \(2014\)](#) es más reciente y presentan cálculos de las pérdidas ocasionadas por el cambio climático en términos del PBI del año 2010 a nivel de los diferentes sectores de la economía. Los cálculos se dividen al nivel de los sectores agricultura, ganadería altoandina, pesca, minería, hidroenergía, infraestructura, turismo y salud, presentando para ello diversas tasas de descuento, a fin de considerar los futuros daños a la economía a valores del PBI de 2010. El documento resalta la incertidumbre de estos efectos al mostrar un abanico bastante amplio de resultados, los cuales tienen como constante que las pérdidas se concentrarán principalmente en las actividades primarias. No obstante, al seguir el enfoque enumerativo, este trabajo puede estar sujeto a la crítica de [Fankhauser y Tol \(2005\)](#), señalada en la sección anterior sobre la subestimación de los efectos del cambio climático.

6.1. El modelo econométrico

En esta subsección se estiman los efectos económicos del calentamiento global en la economía peruana, siguiendo lo propuesto por Kahn y otros (*ibidem*), donde los desvíos respecto a la norma histórica en las temperaturas ambientales y/o en las precipitaciones son las que generan una reducción en la tasa de crecimiento del producto per cápita. De manera similar a [Vargas \(2009\)](#), se trabajará con datos a nivel de región. La ecuación 1 representa el modelo econométrico a estimar:

$$\Delta pbipc_{jt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^3 [\beta_{1k} X_{k,j,t} + \beta_{2k} X_{k,j,t-1}] + \gamma FEN_{jt} + \nu_j + \lambda_t + \epsilon_{jt} \quad (1)$$

donde $\Delta pbipc_{jt}$ mide de crecimiento del PBI per cápita para la región j en el año t , $X_{k,j,t}$ y $X_{k,j,t-1}$ representan los desvíos de los k indicadores climáticos en los períodos t y $t - 1$ de la respectiva región j . De otro lado, ν_j captura los efectos idiosincrásicos regionales (como por ejemplo

¹⁴ Un estudio reciente de [Cruz y Rossi-Hansberg \(2021\)](#) encuentran incluso un aporte positivo para las naciones industrializadas del 14 por ciento del PBI hacia el año 2200, debido a que se beneficiarían de los flujos de capital físico y humano de las zonas más afectadas (países en vías de desarrollo más cercanos a la línea del Ecuador que experimentarían una caída del orden del 15 por ciento del PBI). No obstante, en términos globales la pérdida ascendería al 6 por ciento del PBI mundial.

¹⁵ Según [Arguez y otros \(2012\)](#) una norma histórica equivale tradicionalmente a un período de unos 30 años, a fin de medir atributos fundamentales del clima como la temperatura y/o las precipitaciones promedio.

¹⁶ [Kahn y otros \(2019\)](#) presenta estimados individuales para 174 países entre los cuales se incluye a Perú.

las diferencias en altitud, región natural, etc.) y λ_t los efectos temporales comunes a todas las regiones (entre los que se consideran los años de crisis económica y de presencia del Fenómeno de “El Niño” y/o “La Niña” sobre el grueso del territorio nacional). Adicionalmente se incluye la variable FEN_{jt} , que controla por el efecto diferenciado de el Fenómeno de “El Niño” sobre las regiones de la costa norte (La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes) durante los años en que se presentó un evento de carácter extremo (1982-83, 1997-98 y 2017) y cuyo impacto se recoge a través del parámetro γ . Finalmente, ϵ_{jt} refleja las perturbaciones aleatorias del modelo.

La variable dependiente se regresiona contra los desvíos en las k variables climáticas seleccionadas: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones, medidas en grados centígrados y mm^3 , respectivamente. Los desvíos fueron computados respecto a los valores promedio de 1960 a 1990. Según la metodología de Kahn y otros, a fin de distinguir la asimetrías entre un calentamiento y un enfriamiento se sugiere separar los desvíos en dos grupos: positivos o por encima de la media y negativos cuando se encuentran por debajo. De manera complementaria, el presente análisis considera también el desvío en términos absolutos siguiendo el trabajo de Vargas (2009).

Asimismo, se debe considerar que las regiones tendrán un efecto diferenciado sobre la economía nacional dependiendo del tamaño de su población y/o de su producto, razón por la cual la regresión es ponderada por cada una de estas variables. A continuación se muestra la evolución de los desvíos de las temperaturas máxima y mínima, así como de las precipitaciones respecto a la norma prevaleciente entre 1960 y 1990.¹⁷ La Figura 4 muestra los promedios a nivel nacional ponderado mediante el tamaño de la población de cada región y la Figura 5 los promedios ponderados mediante el producto.¹⁸ A priori se observa una cierta tendencia en los últimos años a un mayor nivel de precipitaciones, así como a mayores niveles de temperaturas máximas en las últimas tres décadas.

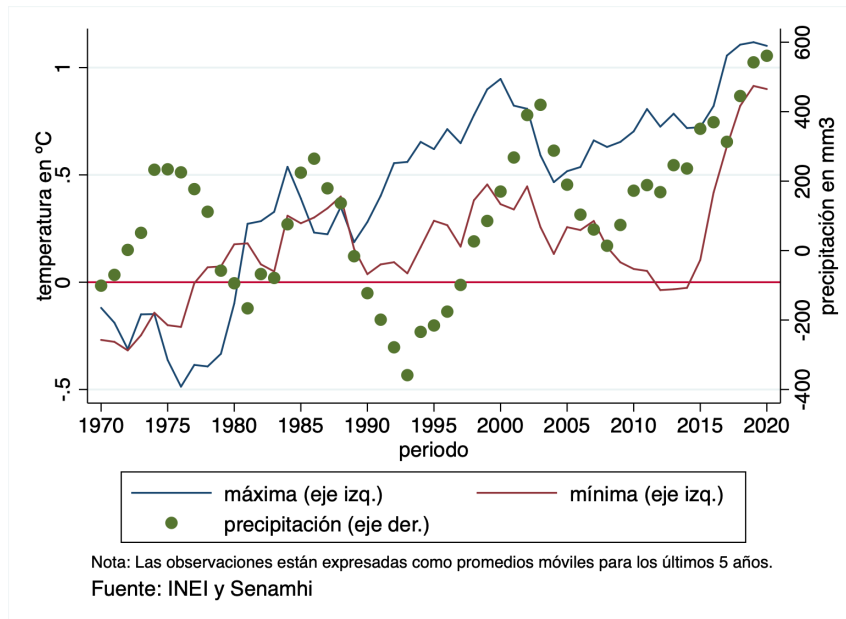


Figura 4: Desvío en los indicadores climáticos a nivel nacional (Ponderado por población)

Según las cifras, estos desvíos registran una mediana de 0.49°C y un promedio de 0.55°C en las temperaturas máximas en los últimos 30 años, en tanto los registros de desvío para las temperaturas mínimas son de 0.30°C para la mediana y de 0.39°C para el promedio. A partir de estos desvíos y el valor de los coeficientes se computará el costo del cambio climático en los siguientes 30 y 80 años.

6.2. Fuentes de información

Las fuentes de información empleadas en el presente estudio son los datos de valor bruto de la producción regional que publica el INEI. Para la información de la temperatura ambiental y las precipitaciones también se utiliza tanto las cifras INEI, en lo correspondiente a los datos desde

¹⁷Como promedios móviles para los últimos 5 años, a fin de facilitar su inspección gráfica.

¹⁸Los desvíos por cada región se muestran en el Anexo 1.

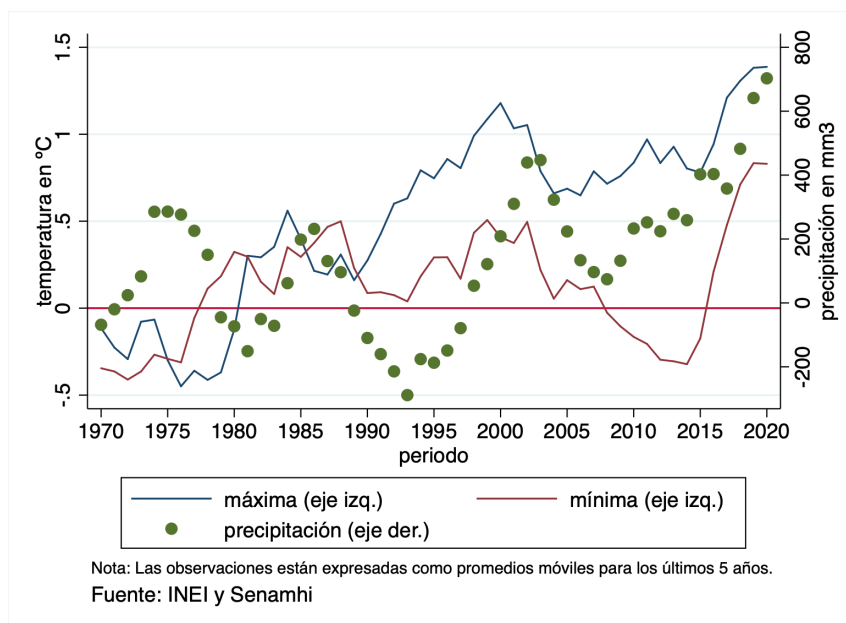


Figura 5: Desvío en los indicadores climáticos a nivel nacional (Ponderado por producto)

1990 en adelante.¹⁹ Para los años anteriores a 1990 se recurrió al servicio de descarga de datos meteorológicos que posee el Senamhi, la cual reporta información de las diversas estaciones que posee a lo largo del territorio nacional. Estos datos serán útiles para el cómputo de las normas históricas que utiliza la metodología de Kahn y otros.

En el caso específico de la información procedente de Senamhi, se tomó la información de un total de 292 estaciones meteorológicas distribuidas en todas las regiones del país con excepción de Pasco y Madre de Dios.²⁰ Asimismo, debe precisarse que la información que las estaciones meteorológicas brindan se encuentra disponible desde inicios de los años 60 para la mayoría de las regiones, y en varias otras desde los años 50, lo que permite el cómputo de las normas climáticas para las temperaturas mínimas y máximas, así como de las precipitaciones señalada por Arguez y otros (2012). La variable dependiente es la tasa de crecimiento del valor agregado bruto per cápita regional (la cual se toma como *proxy* del PBI regional) entre 1970 y 2019.²¹

6.3. Principales resultados

El efecto de largo plazo del cambio climático se calcula, siguiendo a Kahn y otros (2019), como la suma de los coeficientes asociados a las variables climáticas tanto contemporáneos como rezagados en un período. El Cuadro 1 muestra los valores de los coeficientes de largo plazo, en las diferentes versiones de los desvíos (positivos, negativos y absolutos), como sugiere la literatura, así como en las ponderaciones (por población o producto). Estos coeficientes se interpretan como el costo en la tasa de crecimiento anual, por cada grado centígrado en que la temperatura (mínima o máximo) se desvía respecto a la norma anterior.

Los coeficientes que se muestran en el Cuadro 1 capturan los efectos de largo plazo del cambio climático y resultan de la suma de los coeficientes estimados de la ecuación 1, tanto en términos contemporáneos como rezagados.²² Así, si se tiene la relación $Y_t = \beta_1 X_t + \beta_2 X_{t-1}$, el efecto de largo plazo viene dado por $\beta_{LP} = \beta_1 + \beta_2$, sobre el cual también se pueden aplicar las tradicionales

¹⁹Para los datos de 1995 en adelante se consultó al portal del SIRTOD. De 1990 a 1994 se empleó como fuente el Anuario de Estadísticas Ambientales.

²⁰Cabe señalar que en algunos casos tanto el promedio como la mediana de esta información presentó discrepancias con la información del INEI, razón por la cual se tomó finalmente al Senamhi como fuente principal cuando ésta estuviese disponible. Dado que esta información figura hasta 2014-2015 en la mayoría de los casos, se extrapoló hasta el 2018 siguiendo la trayectoria de los datos mostradas por el INEI a fin de tener los datos disponibles hasta el 2018, del cual también se tiene disponible la información del valor bruto de la producción regional.

²¹Para ello se han empalmado múltiples años base (1979, 1994 y 2007). En el caso de la población se recurrió a la serie de población anual publicada desde inicios de los años 90 retropolada hasta 1950 con los datos censales de 1940, 1961, 1972, 1981 y 1993.

²²Los coeficientes contemporáneo y rezagados se muestran en el Anexo 2.

Cuadro 1: Estimación de los efectos de largo plazo de los desvíos en la temperatura y precipitaciones sobre el crecimiento económico (período de estimación: 1970-2019)

Variables	ponderado por población			ponderado por producto		
	Desvío positivo (1)	Desvío negativo (2)	Desvío absoluto (3)	Desvío positivo (4)	Desvío negativo (5)	Desvío absoluto (6)
Coeficiente $\beta_{LP} = \beta_1 + \beta_2$						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.023***	-0.054***	-0.010***	-0.002***	-0.058***	-0.011***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.028***	-0.045***	-0.004***	-0.037***	-0.031***	-0.006***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.012***	0.039***	0.001***	0.022***	0.039***	0.004***
Costo en % del PBI al 2050						
Desvío temperatura máxima (°C)	-28.0	-54.4	-13.5	-3.3	-56.8	-14.8
Desvío temperatura mínima (°C)	-21.8	-33.0	-3.3	-27.8	-23.9	-5.3
Costo en % del PBI al 2100						
Desvío temperatura máxima (°C)	-58.3	-87.7	-32.0	-8.5	-89.4	-34.7
Desvío temperatura mínima (°C)	-48.1	-65.6	-8.5	-58.0	-51.7	-13.6
Número de observaciones	269	78	1066	269	78	1066
R ² ajustado	0.442	0.735	0.352	0.441	0.727	0.395

Notas: (1) Todas las variables están expresadas como desvíos respecto a los valores promedios del período 1960-1990. (2) *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento.

pruebas de significancia estadística. En todos ellos se reporta que el efecto de los desvíos en las temperaturas son negativos y significativos al 5 por ciento en todos los casos, aunque ello no ocurre en el caso de los desvíos en las precipitaciones. La magnitud del coeficiente es notoriamente mayor cuando se calcula el coeficiente discriminando los desvíos negativos (modelos 2 y 5) de los positivos (modelos 1 y 4) que cuando éstos se computan en términos absolutos (modelos 3 y 6). Así por ejemplo, el modelo 1, que solo considera desvíos positivos, señala que un incremento de 1°C en la temperatura máxima conllevaría a una pérdida de 2.3 puntos porcentuales en la tasa de crecimiento del PBI por habitante (o de 5.4 puntos porcentuales si solo se consideran desvíos negativos en las estimaciones, como en el modelo 2). Si el cómputo se hace con los desvíos en valor absoluto, como en el modelo 3, la pérdida es de un punto porcentual. Cabe mencionar que en el caso de los modelos 1 al 3, las observaciones regionales son ponderadas por el tamaño de su población. En el caso de utilizarse el tamaño del producto regional como criterio de ponderación, las pérdidas oscilarían entre 0.2 y 5.8 puntos porcentuales por año ante un aumento de un punto en la temperatura máxima. De manera similar, si se emplean las temperaturas mínimas como indicador del cambio climático, las pérdidas oscilan entre 0.4 y 4.5 puntos porcentuales por año.

Sobre la información de estas especificaciones es posible estimar el costo del cambio climático en términos del PBI respecto a un escenario base y para un período determinado, como por ejemplo en un horizonte de 30 años o hacia el 2050. Si se asume un crecimiento promedio del 2,5 por ciento anual en términos per cápita, el ingreso en dicho período (2050) debería ser 2,10 veces mayor al actual (nivel del 2020); al crecer menos, como consecuencia del cambio climático, se alcanzaría un nivel de ingreso ciertamente menor. La pérdida de ingreso respecto al escenario base, expresada como porcentaje de este último, representaría el costo del cambio climático.

Debido a la diferente magnitud de los coeficientes, se toma uno por uno como referencia para hacer el cálculo de la pérdida en crecimiento económico. Así, dependiendo de si se toma el efecto de un desvío similar al que se dio en los últimos 30 años respecto al periodo 1960-1990 (medianas para la temperatura máxima o mínima) y haciendo uso de los coeficientes de los modelos 1 al 6, las pérdidas al año 2050 pueden ir de entre 3.3 a 56.8 por ciento en el caso de emplear la temperatura máxima a entre 3.3 a 33.0 por ciento en el caso de utilizar la temperatura mínima. Cabe mencionar que los modelos con desvíos en términos absolutos dan los efectos más conservadores (-13.5 y -14.8 por ciento cuando se emplean las temperaturas máximas y -3.3 y -5.3 por ciento con las mínimas).

Como se señaló anteriormente, los coeficientes para cuando los desvíos se discriminan entre positivos (modelos 1 y 4) y negativos (modelos 2 y 5) son significativamente mayores a los desvíos en términos absolutos (modelos 3 y 6) y conducen incluso a que la tasa de crecimiento con la que se hace la proyección se haga negativa; asimismo, estos modelos pierden grados de libertad pues trabajan sólo con parte de la información (cuando el desvío es positivo o negativo). Por estas

razones, el estudio se centra en los coeficientes para los modelos con desvíos en términos absolutos, los cuales dan pérdidas entre 3.3 y 14.8 por ciento al cabo de unos 30 años. Haciendo uso de este último conjunto de modelos y extendiendo el horizonte a 80 años (año 2100), un aumento de la temperaturas, similar a lo ya registrado entre 1990 y 2020, estaría generando una pérdida hacia finales del presente siglo de entre 8.5 y 34.7 por ciento del ingreso per cápita respecto al que se alcanzaría en el escenario base.

Cabe precisar que la mayor pérdida hacia fines de siglo se explica porque la economía sigue creciendo a una menor tasa respecto al escenario base (crecimiento per cápita de 2.5 por ciento). Así, partiendo del año 2020 como período inicial y creciendo según el escenario base, el ingreso debería ser 2.1 veces mayor al 2050. De otro lado, si tomamos como base el coeficiente que mide la pérdida en la tasa de crecimiento que se obtiene del modelo 6 (0.011 ó 1.1 puntos porcentuales) multiplicada por la mediana de los desvíos en la temperatura máxima señalada en la subsección 6.1, de 0.49, se tendría una tasa de crecimiento de $1 + 0,025 - (0,011) \times (0,49)$ igual a 1,96 por ciento. Al cabo de 30 años y creciendo a esa tasa el nivel de ingreso sería 1.8 veces mayor, lo que implica una pérdida respecto al escenario base de 14.8 por ciento, en tanto al cabo de 80 años (al 2100) el ingreso en el escenario base debería ser 7.2 veces mayor, pero con el crecimiento de 1.96 por ciento este nivel sería solo 4.8 veces mayor al actual lo que representa una pérdida de 34.7 por ciento respecto al escenario base. Estos números son los que se presentan en el Cuadro 1.

6.4. Análisis de robustez

Para analizar la robustez del modelo se modifican los períodos de estimación y las variables de control señaladas en la ecuación 1; ahora se considera adicionalmente como controles a la participación de los sectores primarios en el producto de cada región (principalmente el agropecuario y la pesca), pues estos son más sensibles a los cambios que pueda experimentar el clima. Con estas modificaciones, la nueva especificación econométrica se detalla en la ecuación 2, y los modelos 1 al 6 se convierten análogamente en los modelos 7 al 12. Los nuevos resultados para el efecto de largo plazo de las variables climáticas sobre el crecimiento del PBI per cápita se muestran en el Cuadro 2, en tanto los resultados generales se presentan en el Anexo 3.

$$\Delta pbipc_{jt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^3 [\beta_{1k} X_{k,j,t} + \beta_{2k} X_{k,j,t-1}] + \sum_{s=1}^2 \delta_s \left[\frac{sector_{s,j,t-1}}{pbi_{j,t-1}} \right] + \gamma FEN_{jt} + \nu_j + \lambda_t + \epsilon_{jt} \quad (2)$$

Un primer aspecto a destacar es que el signo de los coeficientes de largo plazo para los desvíos en las temperaturas mínimas y máximas continúan siendo negativos y que la magnitud de los modelos que discriminan el signo de las desviaciones (modelos 7 y 10 para solo desvíos positivos, y modelos 8 y 11 para los desvíos solo negativos) sigue siendo más alta que los modelos que consideran éstas en términos absolutos (modelos 9 y 12).

Tomando nuevamente como base a los estimados obtenidos de los modelos con las desviaciones en términos absolutos, la pérdida de ingresos por habitante en un período de 30 años (al 2050) se ubicaría entre 14.5 y 17.5 por ciento ante un incremento en las temperaturas máximas similar al ocurrido en los últimos 30 años, y entre 5.1 y 9.0 por ciento en caso que el desvío se dé en las temperaturas mínimas. En el caso de computarse la pérdida hacia finales del siglo ésta se ubicaría entre 13.1 y 40.1 por ciento del ingreso por habitante, rango que es similar al descrito en el primer conjunto de modelos (3 y 6), cuando se consideran tanto los desvíos en las temperaturas mínimas como máximas. Por otro lado, cabe mencionar que el valor estimado del coeficiente γ , asociado al impacto diferenciado del FEN en el crecimiento, es en promedio un 2 por ciento negativo, lo cual representa las pérdidas en que incurren las regiones del norte del país, cuando se presenta un fenómeno “El Niño” extremo. Considerando que el PBI de estas regiones representa el 12.5 por ciento del PBI nacional, el efecto económico agregado de este evento ascendería a 0.25 por ciento del PBI.

Como parte del análisis de robustez también se varió el período de estimación, realizando diversos ejercicios de estimación partiendo del período 1970-2000 y luego aumentando un año hasta llegar al 2019 como período final (esto es 1970-2001, 1970-2002, hasta 1970-2019), o partiendo igualmente desde el período completo 1970-2019 y restando una observación al inicio, esto es pasar a 1971-2019, 1972-2019 hasta llegar a 1989-2019 como período de análisis. Finalmente, se optó también por ventanas móviles de 30 años, partiendo del periodo 1970 al 2000, de 1971 a 2001 hasta

Cuadro 2: Estimación de los efectos de largo plazo de los desvíos en la temperatura y precipitaciones sobre el crecimiento económico (período de estimación: 1970-2019)

Variables	ponderado por población			ponderado por producto		
	Desvío positivo (7)	Desvío negativo (8)	Desvío absoluto (9)	Desvío positivo (10)	Desvío negativo (11)	Desvío absoluto (12)
Coeficiente $\beta_{LP} = \beta_1 + \beta_2$						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.023***	-0.068***	-0.011***	-0.004***	-0.070***	-0.013***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.029***	-0.038***	-0.006***	-0.038***	-0.022***	-0.011***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.012***	0.042***	0.000***	0.015***	0.041***	0.002***
Costo en % del PBI al 2050						
Desvío temperatura máxima (°C)	-28.3	-62.9	-14.5	-6.0	-63.9	-17.5
Desvío temperatura mínima (°C)	-22.3	-28.6	-5.1	-26.8	-17.8	-9.0
Costo en % del PBI al 2100						
Desvío temperatura máxima (°C)	-58.9	-92.9	-34.1	-15.1	-93.4	-40.1
Desvío temperatura mínima (°C)	-49.0	-59.3	-13.1	-59.6	-40.7	-22.2
Número de observaciones	269	78	1066	269	78	1066
R ² ajustado	0.451	0.745	0.356	0.494	0.742	0.408

Notas: (1) Todas las variables están expresadas como desvíos respecto a los valores promedios del período 1960-1990. (2) *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento.

1989 a 2019. En todos estos ejercicios (que se presentan en el Cuadro 3) se tomó como referencia la especificación del modelo 12 como punto de referencia, esto es, el modelo que utiliza los desvíos absolutos de las variables climáticas, el cual pondera las observaciones por el producto de cada región y que incluye efectos fijos de región y año, respectivamente, y al cual se le añadieron el peso de los sectores primarios y el efecto del fenómeno de “El Niño” como controles adicionales.

Cuadro 3: Mediana de los efectos de desvíos en la temperatura y precipitaciones sobre el nivel del PBI per cápita para un horizonte de 30 y 80 años (Como porcentaje del PBI per cápita)

Variables	A*		B**		C***	
	Al 2050	Al 2100	Al 2050	Al 2100	Al 2050	Al 2100
Desvío temperatura máxima (°C)	-9.2	-22.7	-20.9	-46.5	-19.0	-43.0
Desvío temperatura mínima (°C)	-4.7	-11.9	-8.5	-21.2	-3.0	-7.8

Notas: * La columna A considera incrementos de año en año partiendo del período 1970-2000, de manera que el siguiente periodo es 1970-2001 hasta llegar a 1970-2019.** La columna B reduce un año el período de inicio partiendo de 1970, de manera que el siguiente período es 1971-2019 hasta llegar a 1989-2019. ***La columna C considera ventanas móviles de 30 años partiendo de 1970-2000, de manera que el siguiente periodo es 1971-2001; 1972-2002; hasta llegar a 1989-2019.

Cabe resaltar que todos estos modelos, salvo con leves excepciones en el de ventanas móviles (períodos 1974-2003 a 1979-2008 en el modelo con temperaturas máximas y 1980-2009 a 1986-2015 en el de mínimas), fueron robustos al dar consistentemente un efecto negativo de los desvíos de las temperaturas sobre el crecimiento económico. Así, la mediana de los efectos señala que, al cabo de 30 años, un incremento en las temperaturas mínimas similar al de las últimas 3 décadas tendría un efecto de entre 3.0 a 8.5 por ciento al cabo de 30 años y de entre 7.8 a 21.2 hacia finales de siglo. Si el incremento se da en las temperaturas máximas el efecto sería de entre 9.2 y 20.9 por ciento al 2050 y de entre 22.7 y 46.5 por ciento al 2100. En general se observa que el efecto puede ser tan bajo como 3.0 (o 7.8) por ciento al 2050 (2100) y tan alto como 20.9 (46.5) por ciento en iguales períodos, lo que refleja la incertidumbre que existe sobre los efectos del cambio climático en la economía, hecho que la literatura revisada también señala dada la diversidad de estimaciones como las dadas en [Kahn y otros \(2019\)](#); [Dell y otros \(2008\)](#) y [Cruz y Rossi-Hansberg \(2021\)](#).

6.5. Canales de transmisión

Otro punto que conviene analizar es bajo qué mecanismos tiende a darse este efecto negativo. Se ha postulado que esto se da principalmente por las consecuencias que el cambio climático ejerce sobre los sectores primarios, con lo cual un ejercicio para verificar este canal consiste en colocar como variable dependiente, la tasa de crecimiento (en términos per cápita) de la producción sectorial, igualmente sujeta a las variables de control establecidas en el modelo general.²³

Los resultados indican que los sectores agro y pesca son por donde se concentra el efecto de los desvíos en la temperatura, pues los resultados son robustos tanto para las temperaturas mínimas como máximas (ver Cuadro 4).²⁴ Una manera alternativa para evaluar este mecanismo de transmisión es interactuando la participación del PBI sectorial con los desvíos en las temperaturas mostrados en los modelos 7 al 12.

El coeficiente asociado a esta interacción debería amplificar el impacto inicial o promedio de un aumento de la temperatura en los sectores primarios. Los cálculos se presentan en el Anexo 4 y en estos se pueden apreciar que el efecto predominante se da principalmente a través del incremento de las temperaturas sobre la producción pesquera, puesto que en 15 de los 24 coeficientes donde se refleja el efecto interacción del clima con este sector son negativos y significativos.

Cuadro 4: Efectos de desvíos en la temperatura sobre el nivel de la producción sectorial

Modelo	Agropecuario		Pesca	
	máxima	mínima	máxima	mínima
Ponderado por población	-0.004***	-0.011***	-0.054***	-0.032***
Costo (como % del PBI del sector 2050)	-5.9	-14.7	-54.5	-37.2
Costo (como % del PBI del sector 2100)	-14.9	-34.6	-87.7	-71.1
Número de observaciones	1066		878	
R ² ajustado	0.292		0.426	
Ponderado por producción	-0.008***	-0.011***	-0.040***	-0.038***
Costo (como % del PBI del sector 2050)	-10.6	-14.8	-43.7	-42.5
Costo (como % del PBI del sector 2100)	-25.9	-34.9	-78.4	-77.2
Número de observaciones	1066		878	
R ² ajustado	0.254		0.261	

Notas: *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento.

Una consideración adicional es el efecto heterogéneo que tendría el cambio climático sobre las distintas regiones. Esto, debido a las diferencias entre el nivel de calentamiento que muestran las regiones respecto a la norma prevaleciente entre 1960 y 1990. Así, el Anexo 1 reporta los mencionados desvíos en las temperaturas, mientras que el Gráfico 6 muestra cómo se traducirían estos desvíos en pérdidas del PBI de cada región, de mantenerse la tendencia del calentamiento en los siguientes años. Se destaca que regiones como Lima, Tumbes, Huancavelica y Madre de Dios, estarían entre las regiones más afectadas (quintil superior), en tanto que las regiones del oriente, así como Arequipa y La Libertad, se verían menos afectadas (quintil inferior). A este respecto, las medidas orientadas a combatir el cambio climático (de adaptación particularmente) priorizan en particular estos sectores. Así, de las 92 medidas de adaptación que figuran en el catálogo del Ministerio del Ambiente, 54 de ellas (el 59 por ciento) están dirigidas a dichos sectores (agua para uso agrario, agricultura y bosques y pesca y acuicultura) en tanto el resto está dirigido a salud y al uso del agua para temas de energía y consuntivo.

Finalmente, es importante mencionar que en los tres trabajos referentes donde se estudia los efectos de cambio climático en el Perú: Vargas (2009), BID y CEPAL (2014) y Kahn y otros (2019), el efecto de un desvío de un grado centígrado en la temperatura sobre el crecimiento económico es

²³El estudio del BID y CEPAL (2014) destaca que el 90 por ciento de los efectos del cambio climático sobre la economía se concentran en las actividades de pesca, ganadería y agricultura, debido a diversas razones como pérdida de rendimientos por menor disponibilidad de agua cambios en la temperatura fuera del rango óptimo donde se desarrollan los cultivos, fragilidad de los ecosistemas que permiten el sustento de la fauna animal, entre otros.

²⁴También se realizaron estimaciones colocando a la minería y al PBI no primario como variable dependiente y si bien los valores fueron significativos al 5 por ciento, los coeficiente de bondad de ajuste fueron bastante bajo (inferiores al 10 por ciento en ambos casos), motivo por el cual se descartan como canales a través del cual incide el cambio climático sobre el desempeño de la economía.

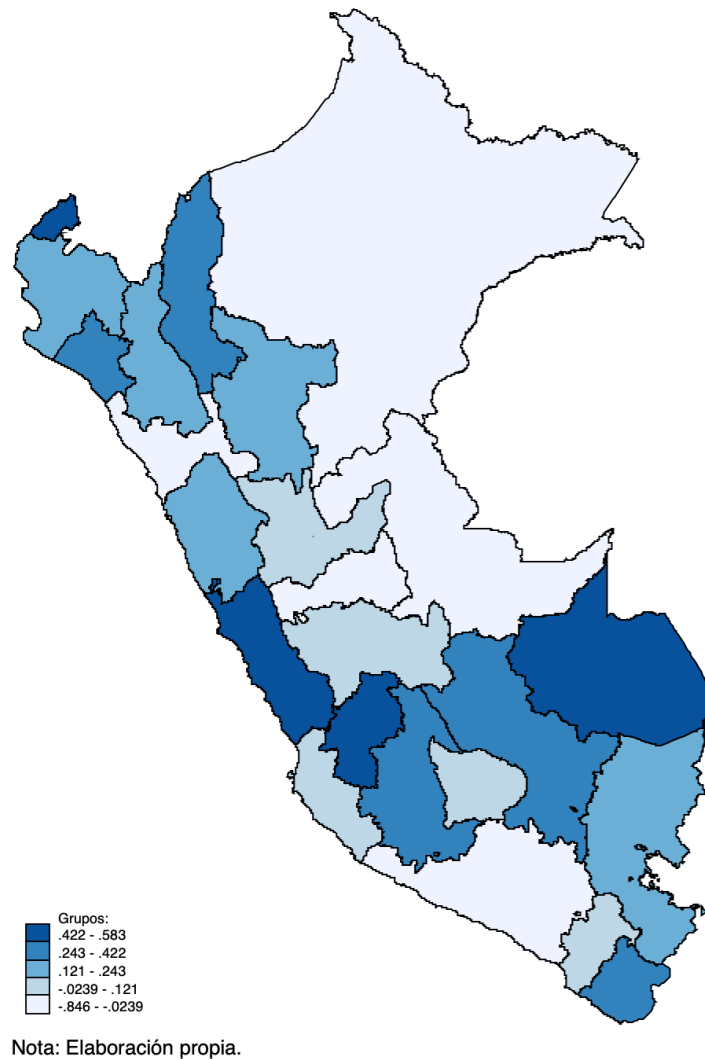


Figura 6: Costo por regiones del calentamiento al 2050

negativo. La magnitud en el primer caso se sitúa entre 0.2 y 0.5 puntos porcentuales de pérdida en la tasa de crecimiento del PBI per cápita por cada grado centígrado en que se desvía la temperatura en los diferentes modelos que presenta, lo que en promedio se traduciría en una pérdida de ingresos superior al 20 por ciento para el año 2050. En el caso de [BID y CEPAL \(2014\)](#) se señala una pérdida de entre 11.4 y 15.4 en el nivel de PBI, mientras que el de [Kahn y otros \(2019\)](#), se indica un estimado de 0.7 puntos porcentuales en el crecimiento del ingreso por habitante, con el cual la pérdida de ingresos hacia mediados de siglo alcanzaría el 16 por ciento del ingreso promedio, en tanto que para el año 2100 la pérdida llegaría al 55 por ciento, ello incluso bajo un escenario conservador. El rango de estimados que en el actual documento se presentan son compatibles con las estimaciones de estos trabajos.

7. Consideraciones finales y limitaciones del presente estudio

Los resultados de esta investigación indican que los desvíos en la temperatura respecto a la norma prevaleciente entre los años 1960 a 1990 han tenido un efecto negativo sobre el crecimiento económico, y que de concretarse un desvío similar al registrado en los últimos 30 años en las temperaturas máximas y/o mínimas, el ingreso por habitante registraría niveles significativamente menores en el largo plazo (con una pérdida de 9 por ciento bajo el escenario central).

No obstante, hay incertidumbre respecto a la magnitud del efecto, pues los modelos arrojan

diferencias significativas al respecto, tanto cuando se toman horizontes de predicción el año 2050 o bien hasta finales del presente siglo. Igualmente, la técnica para computar los costos no están exentas de limitaciones, en el sentido de señalar que al señalar que los canales de transmisión de los efectos del cambio climático se dan a través de los sectores primarios puede ser cuestionable asumir un crecimiento del agro y la pesca por igual al del resto de la economía; sin embargo, con ello se busca también capturar las interrelaciones con el resto de sectores de la economía y la incertidumbre sobre si el cambio climático pueda en algún momento tener también un efecto directo sobre estos otros sectores.

El cambio climático es considerado la principal externalidad que ha generado el proceso de crecimiento que han experimentado las economías tanto desarrolladas como en desarrollo en las últimas décadas. De acuerdo al estudio del [BID y CEPAL \(2014\)](#), el Perú reúne 7 de las 9 características principales que hace a una región muy sensible a los riesgos del cambio climático como zonas costeras bajas y áridas, áreas susceptibles a deforestación y erosión, desastres naturales, sequías, desertificación, áreas urbanas altamente contaminadas y ecosistemas frágiles, a lo cual habría que añadir los altos niveles de pobreza como un factor agravante.

Ante esta situación y al ser aún una economía pequeña y con una industria poco desarrollada, que genera un escaso nivel de emisiones tanto a nivel agregado como per cápita, nuestro país puede aprovechar ello y participar en un mercado de instrumentos financieros verdes que promuevan un desarrollo con bajo impacto en el medio ambiente. Cabe señalar que entre estos tipos de herramientas financieras se encuentran los bonos verdes, los cuales consisten en instrumentos de deuda mayor a un año, cuyos recursos son orientados exclusivamente al financiamiento o refinanciamiento, de manera parcial o total, de proyectos nuevos y/o existentes que generen impactos ambientales positivos.

A la fecha, ya existen esfuerzos en esta dirección; así, en marzo 2018, la Bolsa de Valores de Lima en colaboración con la Embajada Británica y las empresas ambientalistas A2G y MÉXICO₂ publicaron la Guía de Bonos Verdes para el Perú. En dicho documento se menciona una lista de proyectos elegibles para este tipo de bonos, los cuales vienen teniendo una mayor demanda por parte de los inversionistas. Se considera, por ejemplo, proyectos de energía eólica, solar, geotérmica; la construcción de edificios eficientes; rellenos sanitarios; medios de transporte masivo; entre otros. Con este documento el gobierno británico quiere compartir sus experiencias con el Perú sobre cómo (Gran Bretaña) ha sido la economía que más se ha descarbonizado en los últimos años.

Finalmente, ante escenarios donde el cambio climático se intensifique y conlleve a episodios aún más graves, el Ministerio de Ambiente (Minam) ha venido liderando en una serie de medidas de adaptación y mitigación, desde poco después de su creación.²⁵ Así, en diciembre 2010 se publicó el plan de acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático, donde se enumeran una serie de acciones para las regiones y sectores a fin de afrontar los riesgos que implica el cambio climático, orientando para ello las prioridades de gasto e inversión en línea con este cometido. En el mismo documento se hace un llamado tanto a la participación del sector público como de la sociedad civil. Más adelante, en diciembre de 2019, el Minam presentó el catalogo de medidas de mitigación, el cual resume las 62 medidas que el Estado peruano ha venido trabajando en los últimos años en los diversos sectores: energía, procesos industriales, agricultura, uso de suelos y manejo de desechos entre otros. Para cada medida se incluye un cronograma de avance y el impacto estimado en la reducción de GEI hacia el 2030. Igualmente, se detalla a los participantes y responsables, así como una serie de beneficios adicionales que las medidas conllevan.²⁶ El objetivo último de estas medidas es lograr que en el largo plazo (año 2050) nuestro país se convierta en una economía neutra en carbono o carbono neutral (con un aporte neto nulo en emisiones de GEI), tal cual lo señaló el actual presidente de la República en su discurso de ascensión al mando el pasado 28 de julio.

²⁵Esta institución se crea el 13 de mayo de 2008 mediante Decreto Legislativo 1013.

²⁶Se entiende como una acción de mitigación toda medida que contribuye a la reducción de los gases con efecto invernadero, así como a incrementar sus remociones.

Referencias

- Arguez, A., I. Durre, S. Applequist, R. Vose, M. Squires, X. Yin, R. Heim y T. Owen (2012). “NOAA’s 1981-2010 U.S. Climate Normals: An Overview”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(11), 1687-1697.
- BID y CEPAL (2014). *La economía del cambio climático en el Perú*. Editores: Pereira, M.; Sanchez-Aragon, L.; Martínez, K.; Ludeña, C. y C. de Miguel. Banco Interamericano de Desarrollo y Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cruz, J.L. y E. Rossi-Hansberg (2021). “The Economic Geography of Global Warming”. *NBER Working Paper* 28466.
- Dell, M., B. Jones y B. Olken (2008). “Climate change and economic growth: Evidence from the last half century”. *NBER Working Paper* 14132.
- Fankhauser, S. y R. Tol (2005). “On climate change and economic growth”. *Resource and Energy Economics* 27, pp. 1-17.
- Kahn, M., K. Mohaddes, R. Ng, M. Pesaran, M. Raissi y J. Yang (2019). “Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis”. Fondo Monetario Internacional, WP/19/215.
- Nordhaus, W. (1992). “The DICE Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming”. Cowles Foundation Discussion Paper 1009.
- Stern, N. (2006). “The Economics of Climate Change: The Stern Review”. Cambridge University Press.
- Vargas, P. (2009). “El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú”. Banco Central de Reserva del Perú. DT 2009-14.

Enlaces consultados:

- <https://www.metoffice.gov.uk/> (fecha de acceso: 24/02/20)
- <https://ourworldindata.org/> (fecha de acceso: 24/02/20)
- <http://systems.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/app/consulta> (fecha de acceso: 24/02/20)
- <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> (fecha de acceso: 24/02/20)
- https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/703502/27-04_GUIA_PERU_MX2_FINAL.pdf (fecha de acceso: 15/07/20)
- <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12164/1821.pdf> (fecha de acceso: 16/07/20)
- <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49796247> (fecha de acceso: 21/07/20)
- <http://www.mexico2.com.mx/nosotros.php> (fecha de acceso: 04/08/20)
- <https://www.a2g.pe/nosotros.html> (fecha de acceso: 04/08/20)
- <https://www.youtube.com/watch?v=ft8XM-Mjxg8> (fecha de acceso: 07/09/21)

Anexo 1: Desvíos de las temperaturas máximas y mínimas por región



Nota: Las observaciones están expresadas como promedios móviles para los últimos 5 años.

Fuente: INEI y Senamhi.

Anexo 2: Estimación de los efectos de desvíos en la temperatura y precipitaciones sobre el crecimiento económico (período de estimación: 1970-2019)

Variables	ponderado por población			ponderado por producto		
	Desvío positivo	Desvío negativo	Desvío absoluto	Desvío positivo	Desvío negativo	Desvío absoluto
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Valores contemporáneos (β_1)						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.004***	-0.001	-0.003***	0.022***	0.004***	-0.005***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.013***	0.020***	-0.011***	-0.021***	0.020***	-0.012***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.0000***	0.056***	-0.000***	0.000***	0.000***	0.0000***
Valores rezagados en un período (β_2)						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.018***	-0.053***	-0.007***	-0.023***	-0.062***	-0.006***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.014***	-0.066***	0.007***	-0.016***	-0.051***	0.006***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.013***	-0.017***	0.000***	0.000***	-0.000***	0.000***
Fenómeno de “El Niño”	-0.034***	n.d.	-0.018***	-0.049***	n.d.	-0.018***
Constante	-0.058***	0.148***	-0.001***	0.097***	0.129***	0.010***
Número de observaciones	269	78	1066	269	78	1066
R ² ajustado	0.442	0.735	0.352	0.441	0.727	0.395

Notas: *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento. n.d.: No disponible.

Anexo 3: Estimación de los efectos de desvíos en la temperatura y precipitaciones sobre el crecimiento económico (período de estimación: 1970-2019)

Variables	ponderado por población			ponderado por producto		
	Desvío positivo	Desvío negativo	Desvío absoluto	Desvío positivo	Desvío negativo	Desvío absoluto
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Valores contemporáneos (β_1)						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.004***	-0.013***	-0.004***	0.020***	-0.008***	-0.006***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.016***	0.021***	-0.012***	-0.029***	0.021***	-0.014***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.000	0.054***	-0.000***	-0,000***	0.054***	-0.000***
Valores rezagados en un período (β_2)						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.019***	-0.055***	-0.007***	-0.024***	-0.062***	-0.007***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.012***	-0.059***	0.006***	-0.009***	-0.043***	0.003***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.000***	0.012***	0.000***	0.017***	-0.013***	0.000***
Controles						
Peso del agro (%)	0.402***	0.052***	0.152***	1.162***	0.102***	0.365***
Peso de la pesca (%)	-0.477***	-1.376***	-0.210***	-0.611***	-1.641***	-0.218***
Fenómeno de “El Niño”	-0.022***	n.d.	-0.015***	-0.017***	n.d.	-0.012***
Constante	-0.201***	0.121***	-0.053***	-0.398***	0.090***	-0.013***
Número de observaciones	269	78	1066	269	78	1066
R ² ajustado	0.451	0.745	0.356	0.494	0.742	0.408

Notas: *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento. n.d.: No disponible.

Anexo 4: Estimación de los efectos de interacción del PBI agropecuario y pesca con los desvíos en las temperaturas máxima y mínima (período de estimación: 1970-2019)

Variables	ponderado por población			ponderado por producto		
	Desvío positivo (7a)	Desvío negativo (8a)	Desvío absoluto (9a)	Desvío positivo (10a)	Desvío negativo (11a)	Desvío absoluto (12a)
Valores contemporáneos (β_1)						
Desvío temperatura máxima (°C)	0.020***	0.166***	-0.014***	0.043***	0.152***	-0.003***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.016***	0.005***	-0.008***	-0.055***	0.041***	-0.021***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	-0.000***	0.000***	-0.000***	0.000***	0.072***	-0.000***
Valores rezagados en un período (β_2)						
Desvío temperatura máxima (°C)	-0.008***	-0.059***	-0.007***	-0.028***	-0.063***	-0.011***
Desvío temperatura mínima (°C)	-0.016***	-0.015***	0.009***	-0.009***	-0.037***	0.012***
Desvío precipitaciones (miles de mm ³)	0.000***	-0.003***	0.000***	0.000***	-0.035***	0.000***
Controles						
Peso del agro (%)	1.463***	-0.429***	0.367***	0.565***	-0.549***	0.100***
Peso de la pesca (%)	0.764***	-1.921***	-0.073***	0.253***	-1.222***	0.023*
Interacción del peso del PBI agropecuario con:						
Desvío temperatura máxima (°C) en t	-0.078***	1.274***	0.088***	-0.359***	1.207***	0.015***
Desvío temperatura mínima (°C) en t	-0.044***	-0.530***	-0.039***	0.237***	-0.307***	0.074***
Desvío temperatura máxima (°C) en $t - 1$	-0.326***	0.105***	0.001***	-0.178***	0.086***	0.041***
Desvío temperatura mínima (°C) en $t - 1$	0.074***	0.250***	-0.029***	0.022***	0.231***	-0.047***
Interacción del peso del PBI pesca con:						
Desvío temperatura máxima (°C) en t	-0.100***	-4.062***	0.033***	-0.520***	-4.230***	-0.167***
Desvío temperatura mínima (°C) en t	-0.976***	6.541***	-0.129***	-0.236***	6.658***	0.025***
Desvío temperatura máxima (°C) en $t - 1$	0.189***	-3.913***	0.089***	0.787***	-4.331***	0.028***
Desvío temperatura mínima (°C) en $t - 1$	-0.595***	-2.473***	-0.272***	-0.890***	-3.162***	0.025***
Fenómeno de "El Niño"	0.010***	n.d.	-0.015***	0.008***	n.d.	-0.013***
Constante	-0.207***	0.193***	-0.129***	-0.161***	0.235***	-0.055***
Número de observaciones	269	78	1066	269	78	1066
R ² ajustado	0.514	0.804	0.410	0.483	0.799	0.358

Notas: *, **, *** representa significativo al 10, 5 y 1 por ciento. n.d.: No disponible.