

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS  
Y CONTABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE ECONOMÍA**



**TESIS:**

**Efectos del cambio climático sobre el PBI, Perú 1981 - 2016**

Para optar el Título Profesional de:

**ECONOMISTA**

PRESENTADO POR:

**Bach. Kevin Himeson CAVALCANTI MUÑOZ**

ASESOR:

**Econ. Narciso MARMANILLO PEREZ**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>I. REVISIÓN DE LA LITERATURA</b>	<b>8</b>
1.1. Enunciado del Problema . . . . .	8
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	15
1.2.1. Problema General . . . . .	15
1.2.2. Problemas Específicas . . . . .	15
1.3. Objetivos . . . . .	15
1.3.1. Objetivo General . . . . .	15
1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .	15
1.4. Justificación . . . . .	16
1.5. Marco histórico . . . . .	18
1.6. Sistema teórico . . . . .	21
1.6.1. Motivación . . . . .	21
1.6.2. Marco teórico de Kalkuhl and Wenz (2020) del impacto climático sobre el PBI . . . . .	22
1.6.3. Otros enfoques . . . . .	27
1.7. Marco conceptual . . . . .	28
1.7.1. Indicadores Climáticos, $T = \{T_{max}, T_{min}, T_{promedio}, P\}$ . . . . .	28
1.7.2. Datos de Panel . . . . .	28
1.7.3. Modelo de Efectos Fijos . . . . .	29
1.7.4. Estimador Within . . . . .	30
1.7.5. Propiedades del Estimador . . . . .	31
1.7.6. Estimador Robusto a Heterocedasticidad . . . . .	31
1.7.7. Aproximación long-difference . . . . .	31
1.8. Marco referencial . . . . .	32
1.8.1. Henseler and Schumacher (2019) . . . . .	32
1.8.2. Li et al. (2020) . . . . .	34
1.8.3. Kalkuhl and Wenz (2020) . . . . .	35
1.8.4. Olper et al. (2021) . . . . .	36
1.8.5. Chirinos et al. (2021) . . . . .	37
1.9. Marco legal . . . . .	38
1.10. Hipótesis . . . . .	42
1.10.1. Hipótesis general . . . . .	42
1.10.2. Hipótesis específicas . . . . .	42
1.11. Variables e indicadores . . . . .	43
1.11.1. Identificación de variables . . . . .	43
1.11.2. Identificación de indicadores . . . . .	43
1.11.3. Especificación del modelo econométrico . . . . .	43

<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>45</b>
2.1. Método . . . . .	45
2.2. Tipo y nivel de investigación . . . . .	45
2.2.1. Tipo de investigación . . . . .	45
2.2.2. Nivel de investigación . . . . .	46
2.3. Población y muestra . . . . .	46
2.4. Fuentes de información . . . . .	46
2.5. Diseño de investigación . . . . .	46
2.6. Técnicas e instrumentos . . . . .	47
2.6.1. Técnicas . . . . .	47
2.6.2. Instrumentos . . . . .	47
<b>III. RESULTADOS</b>	<b>48</b>
3.1. Clima y PBI per cápita promedio anual Perú: 1981-2016 . . . . .	48
3.2. $\Delta$ PBI per cápita promedio anual departamental: 1981-2016 . . . . .	49
3.2.1. Análisis de heterogeneidad temporal . . . . .	54
3.2.2. Análisis de heterogeneidad departamental . . . . .	54
3.3. Estimación de los efectos de corto plazo . . . . .	57
3.4. Estimación de los efectos de mediano plazo (long-difference) . . . . .	58
3.5. Estimación de los efectos de mediano plazo (cross-section) . . . . .	64
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	<b>69</b>
4.1. Contrastando las hipótesis específicas . . . . .	69
4.1.1. Contrastando la hipótesis específica a) . . . . .	69
4.1.2. Contrastando la hipótesis específica b) . . . . .	70
4.1.3. Contrastando la hipótesis específica c) . . . . .	70
4.2. Contrastando la hipótesis general . . . . .	71
4.3. Contrastando los resultados con los antecedentes . . . . .	72
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>80</b>

## Índice de figuras

1.	Temperaturas y variación del PBI per cápita peruano . . . . .	13
2.	Series Nacionales . . . . .	52
3.	Series departamentales . . . . .	53
4.	Promedio $\Delta$ PBI per cápita: anual . . . . .	55
5.	Promedio $\Delta$ PBI per cápita: departamental . . . . .	56
6.	Solicitud de datos del PBI departamental desde 1980: . . . . .	80

## Índice de Tablas

1.	Resultados de regresión de panel . . . . .	62
2.	Resultados de regresión long-difference . . . . .	63
3.	Resultados de regresión cross-section: 1981-1993 . . . . .	66
4.	Resultados de regresión cross-section: 1994-2004 . . . . .	67
5.	Resultados de regresión cross-section: 2005-2016 . . . . .	68
6.	Significancia de los modelos . . . . .	71

## **AGRADECIMIENTO**

A mi querida familia y en especial a mi hermano Dennis, por ser los principales motores de mis sueños. Gracias a ellos por siempre confiar en mí, creer en mí y en mis expectativas.

A mi querido padre que desde el cielo siempre cuida de nosotros y por dejarnos en vida sus sabias palabras para ser buenos profesionales.

Un agradecimiento especial a mis profesores y amistades que formaron parte de mi vida y en mi formación profesional.

## RESUMEN

En esta investigación se realiza una estimación del impacto de corto y mediano plazo del cambio climático sobre el Producto Bruto Interno (PBI) en el Perú durante el periodo 1981-2016 utilizando datos de panel a nivel de los 24 departamentos. Para tal fin, se plantearon diversos modelos de regresión lineal y fueron estimados basados en el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Dichas estimaciones indican que en el corto plazo el incremento de 1°C en la temperatura promedio del país reduce la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en un 6-8 %<sup>1</sup>; y que en el mediano plazo el impacto sigue siendo estadísticamente significativo, indicando que la adaptación de la economía peruana no toma lugar de un periodo a otro. Finalmente, los departamentos con temperaturas frías (<14°C) y cálidas (>26°C) pueden tener menor PBI per cápita respecto a departamentos con climas templadas (17-23)°C<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup>Bajo diferentes especificaciones.

<sup>2</sup>Aunque, en esta última estimación, se pierde significancia estadística.

## INTRODUCCIÓN

En esta investigación, se realiza una estimación del impacto de corto y mediano plazo del cambio climático sobre el PBI en el Perú durante el periodo 1981-2016. Para dicho fin, en la misma vía que los estudios que preceden a este, consideramos al PBI per cápita como variable dependiente, expresada en tasas de crecimiento y en niveles; mientras que como variables explicativas, a las anomalías de la temperatura y de las precipitaciones, ámpliamente aceptadas como medidas del cambio climático.

Asimismo, el estudio considera la importancia de incluir la gran diversidad climática en las 8 regiones naturales del país, que a su vez, condicionan la composición sectorial dentro del PBI regional. De manera que; primero, los datos de la temperatura, precipitación y el PBI per cápita, fueron recolectados a nivel departamental y segundo, la estimación está controlada por características no observables, idiosincráticas a nivel departamental (como por ejemplo, la altitud, la región natural, institucionalidad, etc).

Ahora bien, de acuerdo a la estructura de panel de los datos y la importancia de los efectos idiosincráticos departamentales, para la estimación del impacto de corto plazo, siguiendo el planteamiento de los estudios previos a este, Kalkuhl and Wenz (2020), se plantea un modelo de efectos fijos con la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita como variable dependiente y formas funcionales de la temperatura y precipitación como independientes.

Por otro lado, para la estimación del impacto de mediano plazo, se plantea un modelo de corte-transversal comparando dos grupos de periodos manteniendo la relación funcional del modelo de efectos fijos. Sin embargo, los estudios previos a este, sugieren, adicionalmente, estimar la relación del PBI per cápita a nivel departamental con cambios discretos en la temperatura (por medio de intervalos) para controlar no linealidades que van más allá de las cuadráticas o exponenciales, usualmente consideradas en el modelo de efectos fijos.

Las estimaciones se realizaron en base al método de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Como resultado, de acuerdo a la estimación de corto plazo, el incremento de 1°C en la temperatura

promedio del país reduce la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en un 6-8 %<sup>3</sup>; y que en el mediano plazo el impacto sigue siendo estadísticamente significativo, indicando que la adaptación de la economía peruana al cambio climático no toma lugar de un periodo a otro. Finalmente, los departamentos con temperaturas frías (<14°C) y cálidas (>26°C) pueden tener menor PBI per cápita respecto a departamentos con climas templadas (17-23)°C.

---

<sup>3</sup>Estadísticamente significativo, y aún robusto a heterocedasticidad.

## I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 1.1. Enunciado del Problema

El clima, tal y como la conocemos en español, se traduce al inglés en dos palabras, weather y climate. Según Mulama and Kariuki (2020), El primero, se refiere a las condiciones temporales de la atmósfera, tales como la temperatura, la presión del aire, la humedad, la velocidad, dirección del viento, etc; mientras que el segundo, se refiere al estado de dichas condiciones sobre un periodo largo en un lugar específico.

Es así que por un lado, podemos experimentar a diario las variaciones temporales del clima (weather); sin embargo, somos incapaces de experimentar diferentes variaciones del clima (climate) en un periodo considerablemente largo. Por ejemplo, somos incapaces de experimentar el clima de hace 100 años, ya que en comparación a los últimos 100 años el planeta experimentó un incremento de la temperatura promedio en  $1.2^{\circ}\text{C}$ , menciona Chirinos et al. (2021); asimismo, menciona que “solo en los últimos 30 años, las temperaturas máximas y mínimas aumentaron en  $0.5^{\circ}\text{C}$  y  $0.3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, en comparación a las temperaturas promedio registradas entre los años 1960-1990”.

En ese sentido, es importante distinguir a qué cambios climáticos nos referimos y cuáles son las implicaciones de cada tipo. Mulama and Kariuki (2020) mencionan que, por un lado, predecir cambios en el primero (weather) es importante para la planificación social y económica y para lograr un desarrollo sostenible; por el otro lado, cambios en lo segundo (climate), pueden afectar la salud, la infraestructura, los sistemas de transporte, tanto como la oferta de comida y energía.

Sin embargo, el cambio climático (climate) no es un tema que se puso de moda con la llegada del siglo XXI; pues, ya en el siglo XX, el matemático Milutin Milankovitch nacido en 1879 formuló una de las teorías relativas al movimiento de la Tierra como explicación a los cambios climáticos más trascendentes de la historia del planeta. Demostrando así que además de que dichos cambios climáticos obedecían, únicamente, a fenómenos naturales; esta era la creencia

predominante de la antigüedad.

No obstante, la comprensión del cambio climático como un asunto económico y una externalidad negativa causada por la emisión de los Gases del Efecto Invernadero (GEIs<sup>4</sup>) de los países que hoy son desarrollados, sí vinieron con este siglo y desde el trabajo del economista británico Nicholas Stern, denominado Informe-Stern<sup>5</sup>, Stern (2006). Aquel informe, menciona Chirinos et al. (2021):

Advierte 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, como la deforestación de la selva amazónica (con consecuencias que pueden resultar impredecibles).

Es así que, a partir de Stern (2006), los esfuerzos dedicados al estudio del impacto del calentamiento global no hicieron más que crecer, y en 2018, con el informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) se puso en evidencia que el cambio climático debería estar en la agenda política con urgencia. Cabe mencionar que en dicho informe, resumido en Nullis (2018), señalan que ya estamos viviendo las consecuencias del calentamiento global de 1°C respecto a los niveles pre-industriales; además, que siguiendo la tendencia actual de emisiones de los GEIs se alcanzará un calentamiento global de 1.5°C entre 2030 y 2052, con consecuencias aún mayores como el aumento del nivel del mar, fenómenos climáticos extremos, riesgos climáticos que afecten a la salud, la subsistencia, las seguridades humana y alimentaria, el suministro de agua y el crecimiento económico.

A dicho llamado de alerta del IPCC, se sumaron desde la declaración del Secretario General de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), Petteri Taalas en Nullis (2018), hasta las contribuciones de diversos autores sobre los costos de postergar su atención y los medios por las cuales el clima extremo puede afectar el crecimiento económico, por ejemplo, desde el daño al stock de capital hasta la oferta de trabajo y cambios en la conducta de las inversiones (Fankhau-

---

<sup>4</sup>Chirinos et al. (2021) menciona algunos de estos gases provocados por el hombre, tales como el CO<sub>2</sub>, el metano, y el óxido nítrico por el uso de los automóviles y el uso de fertilizantes.

<sup>5</sup>Stern-Review

ser and Tol (2005), Lecocq and Shalizi (2007) y Moore and Diaz (2015), citados en Kalkuhl and Wenz (2020)).

No es de extrañar entonces que actualmente, las investigaciones económicas ya vayan por ese camino, como informa Re (2021), que si no se toman medidas, el cambio climático podría costarle a la economía mundial el 18 % del PBI.

Tampoco es de extrañar entonces que ya haya evidencia a través de países (cross-country) del impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento económico, y que esta, a su vez, esté vinculada al clima global; como por ejemplo, las investigaciones de Newell et al. (2018), Hense-ler and Schumacher (2019), Berg et al. (2021) y Burke and Hsiang (2015) llegan a concluir.

Burke and Hsiang (2015) encuentra que “la temperatura afecta a la productividad de una manera no-lineal; alcanzando un pico de productividad alta a una temperatura promedio anual de 13°C y luego reduciéndose severamente para temperaturas mayores a este”. Asimismo, encuentran que dicha relación es generalizable tanto para la actividad agrícola como la no-agrícola y tanto para países ricos como pobres.

No obstante, los estudios de ese tipo (de alcance mundial) presentan problemas al momento de generalizar los resultados. Por ejemplo, la presencia de heterogeneidad climática para cada país podría sesgar los resultados a nivel global; como menciona Olper et al. (2021), que si las temperaturas para cada país son promediadas sobre diferentes áreas, regiones (“y/o departamentos”), durante este proceso se puede perder información crucial sobre las anomalías de la temperatura. Cabe mencionar que para muchos países en el mundo que poseen diversas zonas climáticas, como Italia (“y/o Perú”), por ejemplo, este hecho es evidente, dado que un shock de temperatura puede afectar de maneras opuestas a las unidades productivas que se encuentran en diversas zonas del país en un año determinado. De manera que la estimación de los verdaderos efectos de la temperatura agregada a nivel país pueden cambiar de signo y/o estar sujetas a incertidumbre en cuanto a su significancia estadística. Otra razón, como menciona Olper et al. (2021) es que debido a la amplia variación del ingreso dentro de los países, un estudio a nivel cross-country solo daría un “mapeo” de los (“verdaderos”) efectos del calentamiento global para cada

país, dado que cada país a su vez cuenta con grupos de población con ingresos heterogéneos.

Estos problemas, por lo tanto, ya están siendo tratadas econométricamente para varios países en el mundo, como para Estados Unidos, Lazo et al. (2011), Holanda, Ouwehand and van Ruth (2014), China, Li et al. (2020), Kenya, Mulama and Kariuki (2020), Italia, Olper et al. (2021), y Perú, Chirinos et al. (2021).

Asimismo, en los países latinoamericanos, ya hay muchas señales de alertas por parte de los medios periodísticos sobre los costos y efectos económicos del cambio climático como en Chile, Weissman (2021), Brasil, SWISSINFO.CH (2021) y Perú, Rosell (2009), El Comercio (2014), Carrasco (2014) y Gestión (2019a). Cabe mencionar que así como podemos notar el amplio interés sobre el calentamiento global a través de diferentes países en el mundo, también podemos notar que es en la última década que se ha prestado mucha más atención al problema, aunque el problema no haya sido reciente.

No obstante, todos los estudios difieren en sus hallazgos; por ejemplo, en estados unidos, Lazo et al. (2011) evalúa la sensibilidad de los sectores productivos al cambio climático, encontrando sensibilidades inferior al 10 % para todos los sectores excepto para la agricultura, que vendría a ser el sector más sensible a cambios climáticos, con un 12.1 %. Asimismo, Lazo et al. (2011) evalúa la sensibilidad a través de los estados, para el cual no encuentra un patrón claro; sin embargo, a nivel nacional, el 95 % de las veces, el PBI estadounidense podría variar entre  $\pm 1.4\%$  frente a variaciones del clima. En esta misma línea, para Holanda, Ouwehand and van Ruth (2014) encuentra resultados significativos (para pocos sectores) y no-significativos (para los principales sectores) del impacto del clima en el valor agregado sectorial. Estos resultados, por lo tanto, implican que cada sector está sujeta a diferentes influencias del clima, de manera que no hay una única vía de la relación del PBI con las variables climáticas.

Por otro lado, el estudio para Kenya, Mulama and Kariuki (2020) encuentra una clara relación negativa entre la temperatura y el PBI sectorial, y una relación positiva entre las precipitaciones y el PBI sectorial; asimismo, muestran que sus resultados indican la presencia de una relación de largo plazo entre el PBI sectorial y la temperatura.

No obstante, cabe mencionar que Kenya es un país sumamente agrícola, el cual contribuye aproximadamente con el 33 % a su PBI nacional y emplea cerca al 40 % de su población total, y siendo el turismo otro de los principales sectores, según Mulama and Kariuki (2020), no es de extrañar entonces que el clima tenga importantes impactos tanto a corto como mediano plazo.

Al estudio de Mulama and Kariuki (2020), sin embargo, se le suma el estudio para China a nivel condados de Li et al. (2020) que encuentran una relación negativa y significativa entre la tasa de crecimiento del PBI a nivel-condado y la temperatura, y que un incremento de 1°C en la temperatura reduciría la tasa de crecimiento inter-anual del PBI en 1.05 %. Asimismo, se suma el estudio para Italia de Olper et al. (2021) que sugiere que la relación del PBI italiano y el VAB (Valor Agregado Bruto) agrícola con la temperatura es no-lineal, parecido al estudio de Burke and Hsiang (2015).

En ese sentido, está claro que las estimaciones de dichos efectos dependerán de la unidad de análisis que está bajo estudio (sectorial o geográfica) y de la forma funcional que se plantea durante las estimaciones; sin embargo, otro de los problemas a las cuales se enfrentan las investigaciones mencionadas es el horizonte de estudio el que consideran durante sus modelamientos econométricos (corto, mediano y largo plazo).

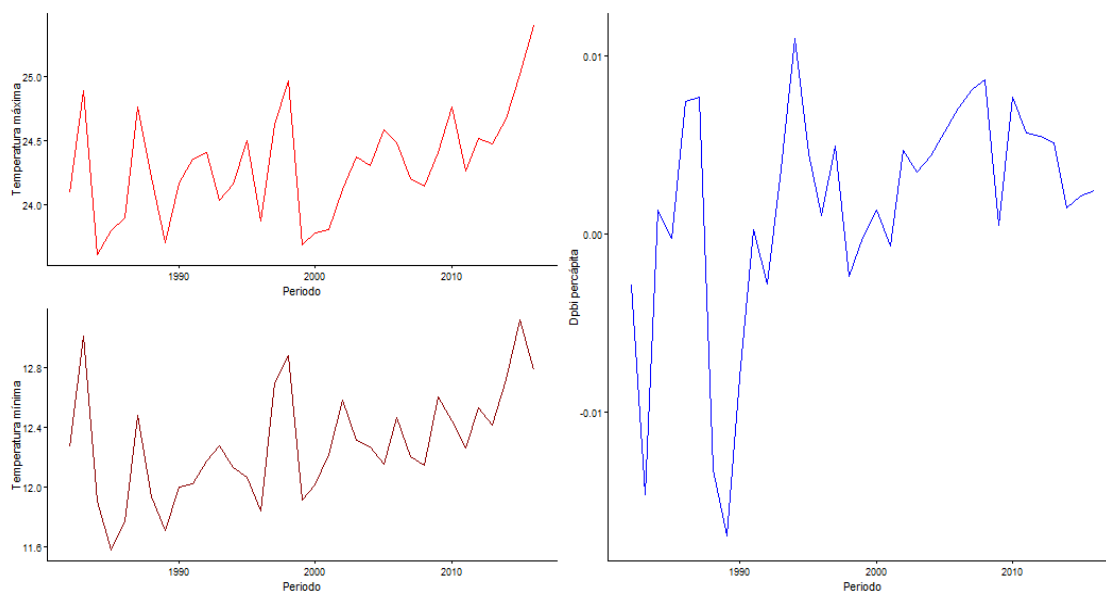
Dado que hay consenso sobre la estimación de corto plazo en base a los modelos de efectos fijos de datos de panel, sigue siendo un problema estimar el efecto de mediano-largo plazo.

Para ello, por ejemplo, estudios como el de Chirinos et al. (2021) consideran el efecto acumulado del cambio en las temperaturas en base a un modelo de efectos fijos de datos de panel como estimador del efecto de mediano plazo; sin embargo, Kalkuhl and Wenz (2020), advierte que las regresiones de panel de efectos fijos están enfocadas al corto-plazo<sup>6</sup> y que el factor *adaptación* de la sociedad al cambio climático reduciría los impactos negativos de los shocks de temperatura. Este autor, sugiere, por lo tanto, aplicar la aproximación *long-difference* de corte transversal para analizar cambios de mediano y largo plazo.

---

<sup>6</sup>Este hecho principalmente se deriva de que dichos modelos consideran como fuente de identificación a las variaciones inter-anales de las variables exógenas, mas no las variaciones entre periodos considerablemente largos, 5-10 años.

**Figura 1:**  
**Temperaturas y variación del PBI per cápita peruano**



*Nota:* Elaboración Propia.

Por lo tanto, al carecer de una teoría precisa que explique la relación económica del cambio climático y sus indicadores meteorológicos, actualmente, los estudios a nivel mundial siguen siendo evidencia puramente empíricas y controversiales; sin embargo, igualmente importantes.

Ahora bien, en el ámbito nacional (Perú); de acuerdo a los datos de SENAMHI, ver Figura N° 1, se nota que para un periodo de corto plazo, los periodos con altas temperaturas tuvieron un crecimiento del PBI per cápita (Dpbi per cápita en la figura) menor en relación a periodos con temperaturas promedio. Por otro lado, para un plazo mayor, los datos muestran un aumento de 0.31°C y 0.32°C, respectivamente, durante tan solo los primeros 15 años de este siglo (2001-2016) en comparación a las temperaturas promedio (máximas y mínimas) registradas durante el periodo 1980-2000. De ahí que el cambio climático y el calentamiento global son un hecho evidente tanto nacional como internacionalmente; de manera que, como muestran algunas de las evidencias empíricas, este rápido calentamiento podría estar afectando negativamente a nuestra actividad económica desde el corto plazo hasta el largo plazo.

Ante ello, por ejemplo, uno de los pocos estudios para nuestro país, Chirinos et al. (2021),

encuentra dos resultados interesantes:

1. el efecto de los desvíos en las temperaturas sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita son negativos y significativos al 5 %, y
2. la pérdida estimada de la tasa de crecimiento inter-anual debido al calentamiento global al 2050 es del 14.8 %; mientras que al 2100, del 34.7 %.

En resumen, empíricamente, el cambio climático estaría impactando negativamente al crecimiento económico desde el corto hasta el largo plazo dependiendo del enfoque que se use ante los problemas de estimación analizados previamente.

Finalmente, dado que en nuestro país, al momento de la investigación (2022), según Chirinos et al. (2021) hay pocos estudios econométricos que busquen explicar el efecto del calentamiento global sobre el PBI a nivel departamental y/o sectorial, siendo Chirinos et al. (2021) el estudio a nivel departamental más completo hasta el momento, al analizar los impactos en el corto y mediano plazo haciendo uso de rezagos para capturar el efecto acumulado o de mediano plazo.

En ese sentido, la presente investigación pretende estimar los efectos del cambio climático sobre el PBI en el corto, mediano y largo plazo usando datos a nivel departamental, diferenciándose de Chirinos et al. (2021) al considerar la adaptación de la sociedad como en Kalkuhl and Wenz (2020) para la estimación de los efectos de mediano y largo plazo.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuáles fueron los efectos del cambio climático sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016?

### **1.2.2. Problemas Específicas**

- a) ¿Cuál fue el efecto de corto plazo del cambio en la temperatura sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016?
- b) ¿Cuál fue el efecto de mediano-largo plazo del cambio en la temperatura sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016?
- c) ¿Cuál fue el efecto de la temperatura sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Estimar los efectos del cambio climático sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Estimar el efecto de corto plazo del cambio en la temperatura sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016
- b) Estimar el efecto de mediano-largo plazo del cambio en la temperatura sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016
- c) Estimar el efecto de la temperatura sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016

## 1.4. Justificación

Primero, socialmente, diversos estudios a nivel mundial, como Berg et al. (2021), demuestran que los países pobres serían los que sufrirían las mayores consecuencias negativas del cambio climático; segundo, de acuerdo a Nullis (2018), la sociedad ya está enfrentando las consecuencias del calentamiento global de 1°C apenas, y probablemente con consecuencias irreversibles para el mundo.

De manera que como Chirinos et al. (2021) encuentra, Perú es uno de esos países afectados; y además, por contar con el 41.7 % de pobres multidimensional, según COMEXPERÚ (2021), es uno de los países a nivel mundial más afectados por este fenómeno.

A pesar de ello, Chirinos et al. (2021), menciona que solo hay 3 estudios sobre el impacto económico del calentamiento global en el Perú, incluido dicho estudio, Vargas et al. (2009) y BID and CEPAL (2014). En ese sentido, este trabajo de investigación busca,

1. aportar evidencia empírica sobre el efecto del calentamiento global en el PBI peruano usando datos a nivel departamental,
2. replicar la metodología de Kalkuhl and Wenz (2020) de datos de panel para el efecto de corto plazo (poca rigurosidad, porque no se llevó datos de panel durante el pre-grado)
3. ampliar las preguntas de investigación hacia el efecto de mediano-largo plazo adaptando metodologías más actuales (con rigurosidad), y
4. evitar posibles sesgos por la presencia de datos faltantes y/o errores de medición

La principal consideración de esta investigación es evitar caer en errores de medición que se pueden originar al usar los datos climáticos del INEI y/o Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), dado que se requiere completar los datos faltantes para departamentos como Pasco y Madre de dios<sup>7</sup>. Ahora bien, por tal motivo, el estudio recurre al proyecto

---

<sup>7</sup>Senamhi, por ejemplo, no abarca los departamentos de Pasco y Madre de dios (hasta la actualidad), asimismo, en algunos departamentos, los datos están disponibles para periodos recientes.

PISCO-Senamhi, que a pesar de actualizarse esporádicamente, sí presenta datos climáticos para todos los departamentos desde 1981 hasta 2016<sup>8</sup>; asimismo, recurre al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) ya que cuenta con estimaciones oficiales del PBI a nivel departamental a partir de 1970 y cuenta con la población departamental para cada año censal más su tasa de crecimiento aplicable para su estimación para el periodo de estudio.

---

<sup>8</sup>Esta es una desventaja al usar una sola fuente de datos, a pesar de que su actualización para años posteriores está en proceso.

## 1.5. Marco histórico

Perú cuenta con una variedad rica en climas, flora y fauna, y el contexto de lenta degradación ameritó poca atención sobre el impacto del cambio climático en la actividad económica. Por esta razón, hasta antes de la fecha de estudio, en Perú hubo pocos trabajos relacionados al cambio climático y el PBI. Sin embargo con el transcurso del tiempo ambas variables individuales convergieron hacia una correlación significativa y negativa de acuerdo a las investigaciones citadas en la introducción.

En principio, el cambio climático es un fenómeno común en la historia de la Tierra, tal y como registra Milutin Milankovitch en 1879 y que está vinculada a los movimientos de la Tierra. Sin embargo, tras la revolución industrial, la actividad humana jugó un rol fundamental en el aumento de la temperatura y en cambio del clima (entendiéndose como clima a las condiciones de largo plazo de la temperatura, la presión del aire, etc) tal y como lo menciona Mulama and Kariuki (2020).

No obstante, en sus inicios, el cambio climático comenzó con el trabajo pionero de Eunice Newton Foote publicado en el *The American Journal of Science and Arts*, *The American Journal of Science and Arts* (1856), quien sentó las bases del concepto del efecto invernadero, un proceso clave en la comprensión del cambio climático. Aunque en su época no recibió el reconocimiento que merecía, estudió la absorción de calor en distintos gases. Su estudio evidenció que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) posee una mayor capacidad de retención térmica en comparación con otros gases como el hidrógeno y el oxígeno y que podría provocar un aumento de la temperatura del aire.

Un par de años más adelante, en 1861, el físico irlandés John Tyndall presentó una investigación fundamental sobre la capacidad del vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano para absorber la radiación infrarroja. Sus experimentos demostraron que estos gases pueden influir en la temperatura de la tierra al retener calor en la atmósfera. Según su publicación en *The Royal Society*, Tyndall (1861).

El creciente interés sobre el fenómeno llevó al primer intento de medir del impacto de

estos gases en el cambio climático a cargo de Arrhenius en 1896. En Arrhenius (1896) propuso que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en la atmósfera influye directamente en el calentamiento global. Estimó que una duplicación de los niveles de ( $CO_2$ ) podría generar un aumento significativo de la temperatura global, lo que más tarde se conocería como el efecto invernadero antropogénico.

Finalmente, a mediados del siglo XX, se dio un paso importante en el estudio del efecto invernadero, gracias a las mediciones sistemáticas de Keeling en 1960. En Keeling (1960), evidenció que un aumento constante de la concentración de  $CO_2$  a través de mediciones realizadas en Mauna Loa, Hawái, lo que proporciono evidencia empírica del impacto de las actividades humanas en la acumulación de gases de efecto invernadero.

Por otro parte, el estudio sobre el PBI se origina hasta sus cimientos de la ciencia económica. Sin embargo, las medidas evolucionaron a través del tiempo siendo Kusnet quien sentó las bases para el uso de una medida estandarizada. En su informe National Income, 1929-1932 (Kuznets (1934)), realizó el primer cálculo sistemático del Producto Bruto Interno (PBI), diferenciándolo del ingreso nacional y sentando las bases para la contabilidad nacional moderna. Su trabajo permitió una medición más precisa de la producción total de bienes y servicios en una economía, convirtiéndose en un indicador clave para el análisis económico.

Keynes destacó la importancia de medir el ingreso y el gasto nacional para comprender la economía y formular políticas efectivas. Sus ideas plasmadas en Keynes (1936) impulsaron el desarrollo de sistemas modernos de contabilidad nacional, que más tarde llevaron a la estandarización del Producto Bruto Interno (PBI).

Stone desarrolló el Sistema de Cuentas Nacionales (SNA), un marco contable estandarizado que permitió la comparación internacional del Producto Bruto Interno (PBI). Su trabajo en Stone (1947) mejoró la metodología de medición propuesta por Kuznets, estableciendo un esquema detallado de ingresos, gastos y producción. Gracias a sus aportes, el PBI se convirtió en una herramienta clave para el análisis macroeconómico global.

Meade amplió los estudios sobre el Producto Bruto Interno (PBI) al desarrollar un enfoque sistemático para la contabilidad nacional en su obra Meade (1948). Su trabajo fue funda-

mental para integrar el PBI dentro del análisis de políticas económicas y para la medición del crecimiento económico.

Finalmente, en Perú, de entre los pocos trabajos que abarcan el problema de investigación, además de Chirinos et al. (2021), encontramos el estudio de Vargas et al. (2009) y el trabajo conjunto del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), BID and CEPAL (2014).

El primero Vargas et al. (2009), menciona Chirinos et al. (2021):

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.

Mientras que el estudio más reciente, BID and CEPAL (2014), mencionado en Chirinos et al. (2021):

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

Finalmente, el estudio de Chirinos et al. (2021) emplea información regional de la actividad económica, PBI per cápita, y los indicadores climáticos como la temperatura y la precipitación durante el periodo 1970-2019. El autor encuentra que el cambio climático tendría un impacto económico negativo, y que el aumento adicional de 0.5°C en la temperatura máxima y de 0.3°C en la mínima, reduciría el ingreso en 9 % al 2050 y en 22 % al 2100.

## **1.6. Sistema teórico**

Ante la falta de una relación teórica clara y concisa sobre las variables de interés, esta sección está dedicada a presentar la relación, de naturaleza empírica, entre el cambio climático y el PBI per cápita, y los esfuerzos teóricos que eventualmente surgieron para explicar dicha relación.

### **1.6.1. Motivación**

Debido a su origen en el hallazgo empírico, aún continúa la amplia discusión sobre, i) la relación entre el cambio climático y la actividad económica, ii) el medio por el cual el cambio climático podría afectar a la actividad económica, y iii) sobre la forma funcional en la cual esta podría suceder.

Por ejemplo, sobre el segundo punto, el estudio para Perú de BID and CEPAL (2014), menciona Chirinos et al. (2021), “Destaca que el 90 % 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”. Asimismo, agrega Chirinos et al. (2021), se ha postulado que los efectos negativos del cambio climático se da principalmente en los sectores primarios.

El enfoque de Chirinos et al. (2021) podría ser cierto y evidente para países mayormente agrícolas y/o ganaderas cuyo PBI estará sujeta a las condiciones climáticas; por ejemplo, para Kenya, Mulama and Kariuki (2020), probablemente, el medio por el cual el cambio climático afecte a la actividad económica sí esté clara.

No obstante, para países con climas mucho más diversos, lo anterior podría ser poco evidente. Los estudios como el de, inclusive Chirinos et al. (2021), Li et al. (2020), y Lazo et al. (2011), con frecuencia, advierten la conveniencia de analizar los medios de transmisión del cambio climático hacia la producción, ya que no está claro el medio específico o general por el cual ocurre ese efecto negativo.

Por otro lado, sobre el tercer punto, Newell (2021) citado en Olper et al. (2021) menciona que la falta de fundamentos teóricos claros sobre dicha relación brinda completa libertad a los

investigadores en decidir la forma funcional que asumirán en sus estimaciones.

En suma, a pesar de que diversos trabajos econométricos encuentren implicaciones negativas del cambio climático sobre la actividad económica, el primer punto aún permanece en discusión.

### **1.6.2. Marco teórico de Kalkuhl and Wenz (2020) del impacto climático sobre el PBI**

Este estudio, a diferencia de otros, parte de un marco teórico usando el modelo de crecimiento estilizado tipo Ramsey para explicar que los cambios en las variables climáticas pueden afectar a la actividad económica por medio del nivel de productividad de toda la economía y de la tasa de crecimiento de la productividad laboral. En este modelo, el país produce usando el trabajo efectivo y el capital como insumos de producción, y a su vez, toda la producción se destina a consumir e invertir en acumular más capital físico.

Cabe precisar, sin embargo, que el estudio no está enfocado en desarrollar ni probar un modelo de crecimiento en particular. Como mencionan los autores, está diseñado para analizar los impactos del cambio climático desde el corto hasta el largo plazo centrándose en el canal de productividad como medio de transmisión por ser la más aceptada en la literatura.

Para tal fin, plantean una función de producción neoclásica  $F$  (homogénea de grado 1),  $Y = \Theta(T)F(K, AL)$ , en donde,  $K$  es el stock de capital,  $A$ , la productividad laboral y  $L$ , la cantidad de trabajo (población). Asimismo,  $\Theta(T)$ <sup>9</sup> representa los daños económicos del incremento de la temperatura promedio mundial u otros indicadores climáticos,  $T$ , sobre el nivel de la productividad agregada.

Asimismo, recordemos que el país destina recursos a nuevas inversiones,  $I$ , y a reparar el stock de capital depreciado (a una tasa  $\delta$ ),  $\delta K$ , de manera que el stock de capital aumenta a un ritmo dado por:  $\dot{K} = I - \delta K$ . Cabe mencionar que en equilibrio se cumple que el ahorro será igual a la inversión,  $sY = I$ , con  $s$  como la tasa de ahorro.

Del modelo presentado, podemos notar que la implicancia inmediata de esa forma fun-

---

<sup>9</sup>Según Nordhaus (1993) citado en Kalkuhl and Wenz (2020)

cional es que si la temperatura se incrementa permanentemente, el producto y por lo tanto el consumo de largo plazo<sup>10</sup> se reducirán en un factor de  $[1 - \Theta(T)]$ , esto se deduce de que la producción previo al incremento de la temperatura es,  $Y = F(K, AL)$  y luego del incremento es,  $Y = \Theta(T)F(K, AL)$ ; por lo tanto, la variación en la producción debido al incremento de la temperatura viene a ser:  $\Delta Y = [1 - \Theta(T)] F(K, AL)$ .

De ahí que mientras las variaciones temporales del clima (T) afectan al nivel de producción en cada periodo, las implicancias en el largo plazo dependerán de si los cambios en las variables climáticas son capaces de afectar a la tasa de crecimiento de la productividad laboral,  $g_A = \frac{\partial \ln(A)}{\partial t}$ ; dado que en el largo plazo, tanto la producción como el consumo crecerán a la misma tasa,  $g_A$ .

Ahora bien, en los modelos de crecimiento exógeno, dicha tasa de crecimiento,  $g_A$ , es un parámetro fijo; mientras que los modelos de crecimiento endógeno la explican por medio de otros parámetros estructurales como los costos de innovación, las preferencias, la estructura de mercados, entre otros (Barro and Sala-i Martin (2003) citado en Kalkuhl and Wenz (2020)).

Así, según (Dietz and Stern (2015), Stern (2013) y Piontek et al. (2019) citados en Kalkuhl and Wenz (2020)), el calentamiento global también puede afectar a la tasa de crecimiento de la productividad laboral,  $g_A$ , por medio de los incentivos hacia la innovación. De ahí que, el estudio considera  $g_A \equiv g_A(T)$ .

**Detalle matemático del efecto de corto, mediano y largo plazo:** De lo visto líneas arriba, Kalkuhl and Wenz (2020), derivan matemáticamente la relación del impacto entre el calentamiento global y la tasa de crecimiento del PBI per cápita; de manera que se procederá a explicar los breves cálculos que realizan.

**Acumulación del capital físico en el largo plazo:** Primero, vimos que la tasa de crecimiento del capital físico está determinada por:  $\dot{K} = sY - \delta K$ , de manera que podemos derivar la

---

<sup>10</sup>En el largo plazo, la variación del consumo es igual a la variación del producto. Esto se deduce de que i)  $Y=C+S$ , y ii)  $S=sY$ . Por lo tanto, para s fijo,  $\Delta C = \Delta Y$

tasa de crecimiento del capital físico, dividiendo la ecuación por  $K$ :

$$\frac{\dot{K}}{K} = s \frac{Y}{K} - \delta \quad (1)$$

Podemos ver que si en el largo plazo no se acumula más capital,  $\dot{K} = 0$ , implica que,  $s \frac{Y}{K} - \delta = 0$  y por lo tanto tanto el capital como la producción crecen a la misma tasa.

**Implicación de F, homogénea de grado 1:** Sabemos que toda función de producción homogénea de grado 1 implica un aumento de la producción en el mismo factor en el que aumentan los insumos de producción, es decir:  $\lambda F(K, AL) = F(\lambda K, \lambda AL)$ . Ahora bien, derivando ambos lados de las igualdades respecto a  $\lambda$ , tenemos que:

$$F(K, AL) = K \cdot F_k(\lambda K, \lambda AL) + AL \cdot F_{AL}(\lambda K, \lambda AL)^{11}$$

Si hacemos  $\lambda \rightarrow 1$  obtenemos la ecuación de Euler, que indica que toda la producción se agota en la redistribución de los factores productivos de acuerdo a sus productividades marginales. Ahora bien, de esa ecuación podemos despejar la productividad marginal del trabajo efectivo:

$$F_{AL} = \frac{F - K \cdot F_k}{AL} \quad (2)$$

**Tasa de crecimiento del PBI:** La función de producción,  $Y = \Theta(T)F(K, AL)$ , se puede escribir en forma logarítmica como:  $\ln Y = \ln \Theta(T) + \ln F(K, AL)$ , y podemos tomar derivadas a ambos lados de la ecuación para encontrar la tasa de crecimiento del PBI,  $\dot{Y}/Y$ :

$$\dot{Y}/Y = \frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)} \dot{T} + \frac{1}{F} \left[ F_k \cdot \dot{K} + F_{AL} \cdot (\dot{AL}) \right]$$

---

<sup>11</sup>en donde  $F_x$  es la derivada parcial de la función de producción respecto al insumo  $x$

Ahora bien, reemplazando la ecuación 2 para  $F_{AL}$ , tenemos:

$$\dot{Y}/Y = \frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}\dot{T} + \frac{1}{F} \left[ F_k \cdot \dot{K} + \left( \frac{F - K \cdot F_k}{AL} \right) \cdot (\dot{AL}) \right]$$

Reordenando las ecuaciones y haciendo que  $\Phi = \frac{KF_k}{F}$  y  $g_{AL} = \frac{(\dot{AL})}{AL} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{L}}{L} = g_A(T) + g_L$ , tenemos:

$$\dot{Y}/Y = \frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}\dot{T} + \Phi \frac{\dot{K}}{K} + (1 - \Phi)(g_A(T) + g_L) \quad (3)$$

De donde empezamos a notar claramente los impactos de corto plazo de las variaciones en la temperatura a través de  $\frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}$ , y los posibles impactos de largo plazo a través de  $g_A(T)$ .

**Tasa de crecimiento del PBI per cápita:** Por definición el PBI per cápita viene a ser el PBI por habitante o por trabajador, así, tenemos que  $y = \frac{Y}{L}$ .

De ahí, para determinar la tasa de crecimiento, podemos tomar logaritmos y derivarlos respecto al tiempo, al igual que hicimos para la tasa de crecimiento del PBI:

$$\ln y = \ln Y - \ln L$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{L}}{L}$$

reemplazando la ecuación 3,  $g_L = \frac{\dot{L}}{L}$  y  $\frac{\dot{y}}{y} = g_y$  tenemos:

$$g_y = \frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}\dot{T} + \Phi \frac{\dot{K}}{K} + (1 - \Phi)(g_A(T) + g_L) - g_L \quad (4)$$

reordenando términos:

$$g_y = \frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}\dot{T} + \Phi \left( \frac{\dot{K}}{K} - g_L - g_A(T) \right) + g_A(T)$$

Finalmente, reemplazando la ecuación de acumulación de capital, ecuación 2, tenemos el efecto final por el cual el cambio climático impacta en la tasa de crecimiento del PBI per cápita:

$$g_y = \underbrace{\frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}\dot{T}}_{i) \text{ Efecto Inmediato}} + \underbrace{\Phi \left( s \frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T) \right)}_{ii) \text{ Efecto Transitorio}} + \underbrace{g_A(T)}_{iii) \text{ Efecto LP}} \quad (5)$$

**i) Efecto inmediato:** De la anterior ecuación podemos notar que el efecto directo y por lo tanto inmediato del cambio climático sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita, vendrá determinado por  $\frac{\dot{\Theta}(T)}{\Theta(T)}$ .

**iii) Efecto de largo plazo:** Asimismo, podemos notar que en el largo plazo, el efecto está determinado por el impacto a través de la tasa de crecimiento de la productividad laboral,  $g_A(T)$ .

**ii) Efecto transitorio:** Sin embargo, el efecto transitorio vendría determinado por toda la parte central de la ecuación:  $\Phi(s\frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T))$ .

Para entenderlo mejor; primero, asumamos que nuestra economía se encuentra en la senda de crecimiento balanceado (SCB), aquella en la que la tasa de crecimiento de PBI per cápita,  $g_y$ , y el ratio (K/Y) son estables; segundo, asumamos que ocurre una caída repentina en la productividad agregada debido a un cambio en la temperatura (T). En ese sentido, el PBI se reducirá inesperadamente sin causar cambios inmediatos en K, dado que K fue determinado con anterioridad; de manera que  $s\frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T) \leq 0$  implica que la tasa de crecimiento del PBI per cápita se reduce, de manera que el nivel de capital tiene que ajustarse hacia abajo reduciendo un poco más la producción; sin embargo, en el largo plazo, la tasa de crecimiento de la producción sigue siendo  $g_A(T)$ , de manera que este efecto es transitorio, y eventualmente se retornará a una nueva SCB.

**Estrategia empírica** Kalkuhl and Wenz (2020) plantea que la ecuación 5 se puede re-plantear de la siguiente manera:

$$g_y = G(T)\Delta T + F(T) \quad (6)$$

En donde, como vimos,  $g_y$  es la tasa de crecimiento del PBI per cápita y  $\Delta T$  el cambio en las variables climáticas como la temperatura; asimismo, G(T) y F(T) vendrían a representar los efectos de corto y mediano-largo plazo del cambio climático sobre el PBI, respectivamente.

Los autores añaden que un modelo empírico, basado en la ecuación 5 debe probar las siguientes hipótesis para ser capaz de discriminar los efectos de corto, mediano y largo plazo:

1. un cambio repentino en las condiciones climáticas,  $\Delta T$ , afecta a la tasa de crecimiento inter-anual
2. dicho impacto es condicional a las condiciones climáticas prevalecientes (históricas),  $T$ , vía  $G(T)$  y
3. las condiciones climáticas prevalecientes,  $T$ , afectan a la tasa de crecimiento transitoria y en el largo plazo vía  $F(T)$

Para tal fin, afirma Kalkuhl and Wenz (2020), la ecuación 6 puede considerar las siguientes formas funcionales para  $G(\cdot)$  y  $F(\cdot)$ , para probar las 3 hipótesis:

$$\begin{aligned} G(T) &= \alpha + \beta T \\ F(T) &= \gamma_1 T + \gamma_2 T^2 \end{aligned} \tag{7}$$

Finalmente, de lo visto, Kalkuhl and Wenz (2020) lidian con los puntos 2 y 3 de la motivación para estimar con relativa significancia el efecto del cambio climático sobre la actividad económica.

### **1.6.3. Otros enfoques**

En otros enfoques tenemos estudios puramente empíricos, que abarcan desde datos a nivel región y país, como en Chirinos et al. (2021) o Kalkuhl and Wenz (2020), hasta los estudios de Lazo et al. (2011) y Ouwehand and van Ruth (2014) quienes analizan empíricamente el impacto de los indicadores climáticos vistos previamente,  $T$ , a nivel de la actividad económica sectorial. Sin embargo, a este nivel, los resultados, como son de esperarse, son bastante heterogéneos, demostrando así que aún el mecanismo de transmisión del cambio climático a la actividad económica en general no está claro.

## 1.7. Marco conceptual

Esta sección está dedicada a presentar algunos conceptos vistos y no definidos en el Marco teórico y a las cuales se prestará atención a continuación.

### 1.7.1. Indicadores Climáticos, $T = \{T_{max}, T_{min}, T_{promedio}, P\}$

En primer lugar, todos los estudios revisados hasta el momento usan la temperatura<sup>12</sup> máxima,  $T_{max}$ , mínima,  $T_{min}$ , y promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{promedio}$ , y la precipitación<sup>13</sup> ( $\text{mm}^3$ ),  $P$ , como indicadores climáticos.

Cabe mencionar que el único indicador robusto en investigaciones previas, es la temperatura, razón por la cual el resto de indicadores climáticos serán consideradas como variables de control, para evitar sesgos por variables omitidas.

Por otro lado, la variable que usan para medir la actividad económica está determinada por la tasa de crecimiento del PBI per cápita<sup>14</sup> ( $\Delta PBIpc_{j,t}$ ).

### 1.7.2. Datos de Panel

Primero, para tener una idea clara sobre qué es una estructura de datos de panel, usaremos los capítulos 13 y 14 del libro de Wooldridge M. (2009).

Un conjunto de datos de panel tiene tanto una dimensión de corte transversal como una de serie de tiempo, el autor menciona que “para recolectar datos de panel, a los cuales en ocasiones se les llama datos longitudinales, se da seguimiento (o se intenta) a los mismos individuos, familias, empresas, ciudades, estados o cualquier otra cosa a lo largo del tiempo”.

Para su análisis econométrico, prosigue Wooldridge M. (2009), “no se puede dar por sentado que las observaciones se distribuyan de forma independiente en el tiempo”. Pues, por ejemplo, los factores inobservables (como la altitud, la región natural o la institucionalidad) que influ-

<sup>12</sup>Recuerde que temperatura mide la cantidad (magnitud) del calor en un determinado tiempo y lugar.

<sup>13</sup>La precipitación mide la cantidad de lluvia, llovizna, nieve, y granizo que cae desde la atmósfera.

<sup>14</sup>El PBI per cápita es un indicador de productividad y desarrollo económico, al ser la relación del PBI y la cantidad de habitantes de un país.

yeron en el PBI per cápita del departamento (j) en 1981 también influirán en el PBI per cápita de ese departamento (j) en 2000; y además, es posible que estos factores inobservables afecten de forma diferenciada en el PBI per cápita a distintos departamentos ( $\neq j$ )

Para lidiar con estos problemas se idearon modelos y métodos especiales para analizar datos de panel. En el caso de este estudio, se requerirá un modelo en particular llamado Modelo de efectos fijos.

### 1.7.3. Modelo de Efectos Fijos

Como mencionamos previamente, factores no observables como la altitud, la región natural o inclusive factores difíciles de medir y controlar, e invariables en el tiempo, pueden afectar al PBI per cápita de cada departamento de formas diferenciadas; así como también pueden tener efecto sobre el clima de cada departamento.

Entonces, asumamos que dichos factores inobversables e invariables en el tiempo se almacenan en un vector de datos,  $a_j$ , en donde j captura el hecho de que dichos factores pueden tener efectos diferenciados sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita para cada departamento (j),  $g_{y,j,t}$ . *En donde j y t indican la tasa de crecimiento del PBI per cápita del departamento j en el tiempo t.*

Por lo tanto, un modelo de efectos fijos es añadir este vector,  $a_j$ , en la versión econométrica de la ecuación 6:

$$g_{y,j,t} = G(T_{j,t})\Delta T_{j,t} + F(T_{j,t}) + a_j + \mu_{j,t}^{15} \quad (8)$$

En donde, se permite que dichos factores tengan impactos diferenciados para diferentes departamentos, esto es que  $a_j$  puede ser diferente que  $a_k$ , y que también pueden estar correlacionados con las variables climáticas,  $T$  y  $\Delta T$ .

Por otro lado, luego de controlar por la forma funcional de la ecuación 8, la única condi-

---

<sup>15</sup>Como Wooldridge M. (2009) menciona que “ $\mu_{j,t}$  con frecuencia se llama error idiosincrático o error variable con el tiempo, debido a que representa factores inobservables que cambian con el tiempo e influyen en  $y_{j,t}$ ”.

ción para la insesgadez de nuestras estimaciones es que el término de error  $\mu_{j,t}$  no esté correlacionado con las variables climáticas. Sobre ello, los estudios de Barreca et al. (2016), Deschênes (2014) y Deschênes and Greenstone (2007) citados en Li et al. (2020) mencionan que las variaciones en las variables climáticas son estrictamente exógenas y estocásticas, de manera que este planteamiento fácilmente podría identificar causalidad, y encontrar estimadores insesgados.

#### 1.7.4. Estimador Within

Wooldridge M. (2009) menciona que bajo los supuestos de exogeneidad estricta, el estimador de efectos fijos de la ecuación 8 será insesgado.

Este estimador consiste en una manipulación simple de la ecuación 8 para eliminar los factores inobservables e invariables en el tiempo,  $a_j$ . Primero, obtengamos el promedio de dicha ecuación a lo largo del periodo de análisis:

$$\frac{\sum_t g_{y,j,t}}{T} = \frac{\sum_t G(T_{j,t})\Delta T_{j,t}}{T} + \frac{\sum_t F(T_{j,t})}{T} + \frac{\sum_t a_j}{T} + \frac{\sum_t \mu_{j,t}}{T}$$

Luego, notemos que el promedio de  $a_j$  durante el tiempo es el mismo  $a_j$ , dado que es invariable en el tiempo; por lo tanto, tendremos la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum_t g_{y,j,t}}{T} = \frac{\sum_t G(T_{j,t})\Delta T_{j,t}}{T} + \frac{\sum_t F(T_{j,t})}{T} + a_j + \frac{\sum_t \mu_{j,t}}{T}$$

Ahora bien, restando de la ecuación 8 estos promedios temporales, tenemos:

$$g_{y,j,t} - \frac{\sum_t g_{y,j,t}}{T} = G(T_{j,t})\Delta T_{j,t} - \frac{\sum_t G(T_{j,t})\Delta T_{j,t}}{T} + F(T_{j,t}) - \frac{\sum_t F(T_{j,t})}{T} + a_j - a_j + \mu_{j,t} - \frac{\sum_t \mu_{j,t}}{T}$$

De ahí, podemos ver que las variables inobservables e invariables en el tiempo,  $a_j$ , desaparecen de la ecuación a estimar:

$$g_{y,j,t} - \frac{\sum_t g_{y,j,t}}{T} = G(T_{j,t})\Delta T_{j,t} - \frac{\sum_t G(T_{j,t})\Delta T_{j,t}}{T} + F(T_{j,t}) - \frac{\sum_t F(T_{j,t})}{T} + \mu_{j,t} - \frac{\sum_t \mu_{j,t}}{T} \quad (9)$$

Finalmente, el estimador por MCO<sup>16</sup> de la ecuación anterior se llama estimador de efectos fijos o within. Ahora, para la correcta estimación de los parámetros de la ecuación anterior se necesita que los errores idiosincráticos no estén correlacionados serialmente y que sean homocedásticos.

### 1.7.5. Propiedades del Estimador

Bajo los supuestos necesarios, de exogeneidad estricta, de homocedasticidad y no correlación serial; el estimador de within group será insesgado y en muestras grandes (cantidad de departamentos, N, y tiempo grandes, T), el estimador será eficiente<sup>17</sup>.

### 1.7.6. Estimador Robusto a Heterocedasticidad

No obstante, es posible obtener estimadores válidos a pesar de la correlación serial y la heterocedasticidad de los errores idiosincráticos recurriendo a los estimadores robustos a estos, los estimadores de White tienen la bondad de considerar algún tipo de heterocedasticidad y correlación en la matriz de varianzas-covarianzas para encontrar estadísticos de prueba válidas.

### 1.7.7. Aproximación long-difference

Kalkuhl and Wenz (2020) menciona que la fortaleza de las técnicas de regresión de los modelos de efectos fijos está en su capacidad para evitar el sesgo de las variables omitidas; sin embargo, solo están enfocadas en los efectos de corto plazo.

<sup>16</sup>Mínimos Cuadrados Ordinarios.

<sup>17</sup>En este estudio no se ahondará en los problemas que puedan ocasionar la falta de alguno de estos supuesto (homocedasticidad y correlación serial); en cuyo caso, se optará por un estimador robusto a heterocedasticidad para realizar las pruebas de hipótesis.

De manera que si deseamos conocer el impacto del mediano y largo plazo, sugiere, debemos recurrir a la técnica de long-difference, el cual consiste básicamente en dividir el periodo de análisis en dos o más grupos, encontrar los promedios de nuestras variables de interés para cada grupo y regresionar la ecuación 9 de corte transversal. Por ejemplo, asumamos que la ecuación de interés es

$$y_{j,t} = \alpha x_{j,t} + \epsilon_{j,t}$$

De manera que primero, dividimos el periodo en dos sub-periodos de al menos 4 o 10 años, a y b (según Li et al. (2020) y Kalkuhl and Wenz (2020)) y luego encontramos el promedio de cada variable para cada periodo ( $y_a$ ,  $x_a$  y  $\epsilon_a$ ) y ( $y_b$ ,  $x_b$  y  $\epsilon_b$ ), de manera que la ecuación anterior para el periodo a, queda como:

$$y_{j,a} = \alpha x_{j,a} + \epsilon_{j,a}$$

Y para el periodo b, tenemos:

$$y_{j,b} = \alpha x_{j,b} + \epsilon_{j,b}$$

De manera que si se toma la diferencia entre los dos periodos tendremos una ecuación de estimación para un solo periodo:

$$y_{j,b} - y_{j,a} = \alpha(x_{j,b} - x_{j,a}) + \epsilon_{j,b} - \epsilon_{j,a} \quad (10)$$

Como se puede notar, el nombre de *long-difference* proviene de la diferencia de dos periodos y de la estimación de corte transversal por MCO de la ecuación 10.

## 1.8. Marco referencial

### 1.8.1. Henseler and Schumacher (2019)

La pregunta principal que guía esta investigación consiste en averiguar cómo impacta el “clima” al crecimiento económico y a sus principales componentes de producción; es decir, cómo afecta, de además de al crecimiento económico, al stock de capital físico, empleo y a la producti-

vidad total de los factores.

El estudio se realizó a nivel país ( $j$ , como país) para una muestra de 103 países durante el periodo 1961-2010 ( $t$ , como tiempo).

La variable dependiente de interés que se usó fue,  $\Delta PBI_{pc}$ , la tasa de crecimiento del PBI per cápita, y las variables independientes que se usaron como proxy del clima fueron tanto la temperatura,  $T$ , ( $^{\circ}C$ ) como la precipitación,  $P$ , ( $mm^3$ ).

Además de dichas variables, el estudio controló por factores no observables específicos para cada país,  $\mu_j$ , así como factores no observables de shocks temporales que pudieron afectar a todos los países,  $v_t$ , y finalmente, consideraron tendencias específicas para cada país,  $\theta_{1,j}t + \theta_{2,j}t^2$ .

Para responder dicha pregunta, los autores plantean el siguiente modelo econométrico de datos de panel que luego fue estimado mediante MCO (estimador WITHIN):

$$\Delta PBI_{pc_{j,t}} = \alpha_1 T_{j,t} + \alpha_2 T_{j,t}^2 + \beta_1 P_{j,t} + \beta_2 P_{j,t}^2 + \mu_j + v_t + \theta_{1,j}t + \theta_{2,j}t^2 + \epsilon_{j,t} \quad (11)$$

El resultado más importante es que la temperatura,  $T$ , afecta negativa y significativamente<sup>18</sup> al crecimiento del PBI per cápita, y que este resultado está principalmente determinado por el grupo de países pobres<sup>19</sup> del mundo.

Asimismo, no encuentran diferencia significativa entre que dicho efecto negativo sea temporal o persistente, y sugieren que el efecto acumulado de la temperatura es similar a su efecto contemporáneo o inmediato (sin diferencias de corto, mediano o largo plazo).

Por otro lado, dada la significancia de la variable temperatura en la estimación de la ecuación 11, encuentran que esta afecta en forma no-lineal y con forma de “U” invertida al crecimiento del PBI per cápita; y contrario de Burke and Hsiang (2015) la temperatura máxima-óptima sería  $10^{\circ}C$  menor a  $13^{\circ}C$ .

---

<sup>18</sup>Los resultados muestran que la precipitación no impacta significativamente en la variable endógena.

<sup>19</sup>Definen a países pobres a aquellos que se encuentran por debajo del percentil 20 de la distribución del PBI.

### 1.8.2. Li et al. (2020)

Esta investigación, sigue motivada por averiguar cuál es el impacto del cambio climático en la actividad económica, en el corto, mediano y largo plazo; aunque, en este caso específico, para China.

Los indicadores climáticos siguen siendo los mismos, el promedio de la temperatura anual,  $T$ , y la precipitación promedio anual,  $P$ ; y como indicador de la actividad económica se usó la tasa de crecimiento del PBI per cápita,  $g_y$ .

Adicionalmente, este estudio controla por variables climáticas distintos a los indicadores de costumbre,  $X'$ , tales como, el promedio de la presión atmosférica, el promedio de la velocidad del viento, y las horas totales de días soleados.

Este estudio también controla por factores no observables específicas a cada condado (“departamento”),  $\mu_j$ , y los factores temporales no observables,  $\delta_t$ , que pudieron afectar a todos los condados como los shocks económicos.

Para tal fin, los autores plantean el siguiente modelo econométrico de datos de panel que luego es estimado por MCO (estimador WITHIN):

$$g_{y,j,t} = \sum_{p=0}^P \lambda_p C_{j,t-p} + X' \phi + \mu_j + \delta_t + \epsilon_{j,t} \quad (12)$$

Los principales resultado de corto plazo,  $\lambda_{p \geq 1} = 0$ , son una relación negativa y significativa entre la tasa de crecimiento del PBI per cápita, la temperatura promedio y la precipitación promedio: la tasa de crecimiento inter-anual cae en 1.05 % ante un aumento de la temperatura promedio en 1°C.

No obstante, los resultados acumulativos negativos y significativos para  $\lambda_{p \leq 5,10}$  implican que los cambios en las variables climáticas no se revierten y que los condados no se adaptan completamente a las fluctuaciones climáticas.

Para capturar dicho efecto de mediano-largo plazo, por lo tanto, este estudio plantea la siguiente aproximación *long-difference*: con  $a=\{1996-1999\}$  y  $b=\{2009-2012\}$

$$\bar{g}_{y,j,b} - \bar{g}_{y,j,b} = c + \kappa(\bar{C}_{j,b} - \bar{C}_{j,b}) + (\bar{\epsilon}_{j,b} - \bar{\epsilon}_{j,b}) \quad (13)$$

El principal resultado de dicha estimación es el mayor efecto negativo del cambio climático en el mediano plazo que en el corto plazo evidenciando que los efectos pueden acumularse y causar mayores pérdidas en el mediano plazo.

### 1.8.3. Kalkuhl and Wenz (2020)

Este estudio constituye el antecedente principal de la tesis; por lo tanto compartimos objetivos, metodología y enfoque sobre los modelos para encontrar el estimador adecuado sobre el impacto del cambio climático en el PBI y en la tasa de crecimiento del PBI.

Este estudio fue llevada a cabo para 77 países alrededor del mundo reuniendo datos a nivel sub-nacional, lo cual hace un total de datos para 1500 regiones. Los indicadores que se usaron fueron la temperatura,  $T_{i,t}$  y la precipitación,  $P_{i,t}$ , almacenadas en el vector de datos  $\mathbf{T}_{i,t} = \{T_{i,t}, P_{i,t}\}$ ; asimismo, se usó la tasa de crecimiento del PBI per cápita,  $g_{i,t}$ .

La metodología empleada para el análisis del efecto del cambio climático en el corto plazo es la estructura anual de datos de panel, ecuación 14; mientras que para el análisis de mediano-largo plazo se usó la aproximación long-difference, ecuación 15, y las regresiones de corte transversal, ecuación 16.

$$g_{i,t} = \alpha \Delta \mathbf{T}_{i,t} + \beta \mathbf{T}_{i,t} \Delta \mathbf{T}_{i,t} + \gamma_1 \mathbf{T}_{i,t} + \gamma_2 \mathbf{T}_{i,t}^2 + p_i(t) + \delta_i + \mu_t + \epsilon_{i,t}^{20} \quad (14)$$

Cabe mencionar que la discusión sobre la estimación de corto plazo,  $\alpha$  y  $\beta$ , al usar el modelo anterior yace en que este aprovecha la variación anual de las variables climáticas para estimar dichos efectos sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita. Mientras que la siguiente ecuación captura la variación de las variables en grandes periodos, por lo tanto se aproximan mucho mejor a impactos de mediano plazo.

---

<sup>20</sup>En donde  $p_i(t)$  controla por tendencias temporales a nivel regional,  $\delta_i$  y  $\mu_t$  son los factores no observables.

$$g_i = \alpha \Delta \mathbf{T}_i + \beta \mathbf{T}_i \Delta \mathbf{T}_i + \gamma_1 \mathbf{T}_i + \gamma_2 \mathbf{T}_i^2 + \lambda X_i + \delta_c + \epsilon_i^{21} \quad (15)$$

De ambas ecuaciones, 14 y 15, el efecto de corto plazo estimado depende de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ ; mientras que el efecto de mediano plazo depende de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ . Sin embargo, los autores hacen un ejercicio de robustez adicional a la ecuación 15 para capturar con mayor eficiencia los efectos de mediano plazo del cambio climático sobre el PBI per cápita, ecuación 16:

$$y_i = \alpha \Delta \mathbf{T}_i + \lambda X_i + \delta_c + \epsilon_i \quad (16)$$

Los principales resultados son, i) que en el corto plazo la temperatura impacta negativa y no-linealmente a la tasa de crecimiento del PBI per cápita, ii) que el aumento en la temperatura aumenta la producción en regiones frías y reduce la producción en regiones calurosas y iii) que no encuentran evidencia que un cambio en la temperatura pueda afectar a la tasa de crecimiento de largo plazo del PBI per cápita.

#### 1.8.4. Olper et al. (2021)

Esta investigación busca averiguar el impacto del cambio en las variables climáticas sobre el PBI per cápita y sobre la productividad agrícola en Italia, usando datos a nivel de provincias durante el periodo 1980-2014.

Para ello, como variables exógenas usan a los indicadores climáticos ya conocidos hasta el momento que están almacenados en  $X_{i,t}$ , y como endógena, usan a la tasa de crecimiento del PBI per cápita,  $y_{i,t}$ . Asimismo, controlan por factores no observables específicos a cada provincia,  $a_i$ ; factores temporales no observables,  $\theta_t$ ; y controlan por posibles tendencias no-lineales,  $h_{i,t}(t)$ .

De ahí que los autores plantean la siguiente ecuación general para la estimación de modelos de datos de panel que luego será estimado usando el estimador WITHIN:

---

<sup>21</sup>  $X_i$  representa los factores geográficos y la institucionalidad, y  $\delta_c$ , representa los efectos fijos a nivel país.

$$y_{i,t} = \beta f(X_{i,t}) + \alpha_i + \theta_t + h_{i,t}(t) + \epsilon_{i,t} \quad (17)$$

Cabe mencionar que los autores hacen una evaluación de diversas formas funcionales sobre  $f(\cdot)$  usadas en la literatura econométrica del cambio climático y concluyen que los resultados más o menos impactantes serán o no significativas dependiendo de dichas formas funcionales.

Por ejemplo, la forma funcional completa de  $f()$  es:

$$f(X_{i,t}) = X_{i,t} + X_{i,t}^2 + X_{i,t} \cdot Poor + X_{i,t}^2 \cdot Poor$$

*En donde, Poor es una variable binaria que captura la heterogeneidad causada por las provincias pobres y no pobres. Asimismo, los autores definen como pobres a aquellas provincias cuyo PBI per cápita es inferior a la media de toda la muestra.*

Como principal resultado encuentran que las variables climáticas afectan negativamente tanto a la tasa de crecimiento del PBI per cápita como al valor agregado del sector agrícola; que sin embargo, el impacto es mayor al PBI en niveles que a la tasa de crecimiento del PBI, y que asimismo, este resultado es más robusto bajo formas funcionales,  $f(\cdot)$ , no-lineales<sup>22</sup>.

### 1.8.5. Chirinos et al. (2021)

Este estudio está motivada en evaluar los efectos económicos del cambio climático en el Perú durante el periodo 1970-2019.

Para ello, usan datos a nivel regional de manera similar a Vargas et al. (2009), es decir, un panel departamental de los indicadores como el desvío de la temperatura máxima y mínima, y la precipitación,  $X_t = \{\hat{T}_{max}, \hat{T}_{min}, \hat{P}\}$ , y considerando a la tasa de crecimiento del PBI per cápita departamental como la variable dependiente,  $\Delta pbipc_{j,t}$ .

Adicionalmente, el estudio controla por el fenómeno de “El Niño” y/o “La Niña”,  $FEN_{j,t}$ ,

---

<sup>22</sup>Adicionalmente, no encuentran conclusiones insesgadas y eficientes sobre la significancia de la variable Poor. Bajo algunas especificaciones, dicha variable agrava significativamente el impacto del cambio climático, mientras que bajo otras especificaciones pierde significancia y/o cambia de signo.

y eventualmente, por la participación de la actividad económica sectorial en el PBI per cápita regional,  $\frac{sector_{j,t-1}}{pbi_{j,t-1}}$ , para controlar por las anomalías climáticas y los “supuestos-desconocidos” medios de transmisión discutidas en el marco teórico.

En ese sentido, plantear un modelo de efectos fijos a nivel departamental les permite controlar por factores no observables,  $v_j$ , que pueden afectar tanto a la tasa del crecimiento del PBI per cápita como a los indicadores climáticos como las diferencias de altitud y la región natural; y asimismo, les permite controlar por los efectos temporales,  $\lambda_t$ , comunes a todos los departamentos como los periodos de crisis económicas.

Para ello, el autor plantea el siguiente modelo econométrico de datos de panel de efectos fijos que luego es estimado por MCO (estimador WITHIN):

$$\Delta pbipc_{j,t} = \beta_0 + \sum_{k=1}^3 [\beta_{1,k} X_{k,j,t} + \beta_{2,k} X_{k,j,t-1}] + \gamma FEN_{j,t} + v_j + \lambda_t + \epsilon_{j,t} \quad (18)$$

Como principal resultado, el estudio encuentra un efecto negativo y significativo de los desvíos de temperaturas,  $\{\hat{T}_{max}, \hat{T}_{min}\}$ , y del desvío de la precipitación,  $\hat{P}$ , sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita departamental,  $\Delta pbipc_{j,t}$ , para los años 1970-2019.

Estos efectos siguen manteniéndose (robustez) si se controla por la participación de la actividad económica sectorial en el PBI per cápita regional,  $\frac{sector_{s,j,t-1}}{pbi_{j,t-1}}$ . *En donde s indica el sector agropecuario y pesca.*

Por último, el estudio encuentra diferencias significativas entre el efecto contemporáneo y el efecto acumulado de los indicadores climáticos sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita departamental.

## 1.9. Marco legal

Siendo los factores antropogénicos los más determinantes del calentamiento global en la actualidad, Chirinos et al. (2021); hay acuerdos desde internacionales hasta esfuerzos nacionales

sobre el cuidado del Ozono y el medio ambiente.

Por tal efecto, esta sección presentará las partes específicas de dichos acuerdos sobre los acuerdos relacionados al medio ambiente.

### **1.9.1. Manual del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (2019)**

Durante la undécima reunión de la conferencia de las partes (Montreal, 20-24 de noviembre del 2017) sobre el Ozono se alentó a las partes del convenio de Viena a:

a) Actividades de investigación y observación sistemática de los procesos que influyen en la evolución de la capa de ozono y sus vínculos con el clima, incluida la priorización de nuevos emplazamientos de medición para optimizar la ubicación de mediciones del ozono con observaciones de otras especies y parámetros atmosféricos.

b) Actividades de creación de capacidad en los países en desarrollo y países con economías en transición, en particular mediante la continuación y expansión de las campañas periódicas de calibración e intercomparación y la prestación de asistencia para que esas Partes puedan reforzar su capacidad científica y participar en actividades de investigaciones sobre el ozono, incluidas las actividades de evaluación previstas en el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono

Asimismo, este acuerdo menciona, “Alentar a los coordinadores nacionales del ozono a que mejoren la comunicación con los organismos meteorológicos y otras organizaciones pertinentes en sus países en materia de supervisión, investigación y actividades científicas”.

### **1.9.2. Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (2019)**

Este convenio se encarga en determinar qué desecho se considera peligroso para el ámbito social, económico y ambiental.

Para tal fin, el artículo 4 de este convenio tiene como una de las obligaciones generales lo siguiente “Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella,

teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos” y añade la importancia de “Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella”.

### **1.9.3. LEY N° 30754, LEY MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (2018)**

En Perú, la presente ley, tiene como objetivo:

La Ley Marco sobre Cambio Climático tiene por objeto establecer los principios, enfoques y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, ejecutar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión integral, participativa y transparente de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el Estado ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con enfoque intergeneracional.

De ahí que, el **Artículo 3** de la presente ley menciona sobre el *Desarrollo bajo en carbono* lo siguiente: “La gestión integral del cambio climático está orientada a desligar el crecimiento de las emisiones de gases efecto invernadero del crecimiento económico, dando cumplimiento a los estándares mundiales de competitividad y desempeño ambiental.”

Asimismo, el **Artículo 6** fomenta lo siguiente: “Incorporar al Sistema Nacional de Información Ambiental la investigación científica y desarrollo tecnológico existente sobre cambio climático, así como la producida por el Estado, universidades y centros de estudios e investigación; priorizando la gestión de dicho conocimiento.”

Finalmente, la presente ley en su Artículo 18 sobre la **Educación ambiental** menciona que:

El Ministerio de Educación y los gobiernos regionales y locales, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Cultura y el Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables, implementan la Política Nacional de Educación Ambiental y el Plan Nacional de Educación Ambiental, considerando los enfoques de igualdad, interculturalidad, gestión de riesgos climáticos, desarrollo sostenible en armonía con la naturaleza, intergeneracional y poblaciones en situación de vulnerabilidad, adaptados a las particularidades lingüísticas de cada localidad.

## **1.10. Hipótesis**

### **1.10.1. Hipótesis general**

H0: Los efectos del cambio climático fueron no significativos sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016

H1: Los efectos del cambio climático son significativos sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016

### **1.10.2. Hipótesis específicas**

a) H0: El efecto de corto plazo del cambio en la temperatura fue no significativo sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016

H1: El efecto de corto plazo del cambio en la temperatura fue significativo sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016

b) H0: El efecto de mediano-largo plazo del cambio en la temperatura fue no significativo sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016

H1: El efecto de mediano-largo plazo del cambio en la temperatura fue significativo sobre el crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016

c) H0: El efecto de la temperatura fue no significativo sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016

H1: El efecto de la temperatura fue significativo sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016

## 1.11. Variables e indicadores

### 1.11.1. Identificación de variables

a) Variable exógena

Cambio climático

b) Variable endógena

PBI

### 1.11.2. Identificación de indicadores

a) Indicadores de variables exógenas

a) Temperatura (°C)

b) Indicadores de variables endógenas

a) PBI per cápita

b) tasa de crecimiento del PBI per cápita

### 1.11.3. Especificación del modelo econométrico

Dada la estructura longitudinal de los datos y las hipótesis que involucran la relación entre las variables, se adapta las siguientes formas funcionales econométricas para contrastar las hipótesis planteadas, siguiendo a Kalkuhl and Wenz (2020), para el corto plazo, ecuación 19, y mediano-largo plazo, ecuaciones 20 y 21, respectivamente:

$$g_{i,t} = \alpha \Delta \mathbf{T}_{i,t} + \beta \mathbf{T}_{i,t} \Delta \mathbf{T}_{i,t} + \gamma_1 \mathbf{T}_{i,t} + \gamma_2 \mathbf{T}_{i,t}^2 + \delta_i + \mu_t + \epsilon_{i,t}^{23} \quad (19)$$

---

<sup>23</sup>Con  $\delta_i$  como las variables no observables como la altitud, región natural, institucionalidad, entre otros; y  $\mu_t$  como factores controlables como los años del fenómeno del niño.

$$g_i = \alpha \Delta \mathbf{T}_i + \beta \mathbf{T}_i \Delta \mathbf{T}_i + \gamma_1 \mathbf{T}_i + \gamma_2 \mathbf{T}_i^2 + \lambda X_i + \epsilon_i^{24} \quad (20)$$

$$y_i = \alpha \Delta \mathbf{T}_i + \lambda X_i + \epsilon_i \quad (21)$$

*En donde,  $g_{i,t}$  mide la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita para el departamento  $i$  en el tiempo  $t$ . Asimismo,  $\mathbf{T}_{i,t}$  mide la temperatura y precipitación promedio anual en el departamento  $i$  en el tiempo  $t$ ; de ahí que  $\Delta \mathbf{T}_{i,t}$ , mide el cambio inter-anual de la temperatura y precipitación promedio anual en el departamento  $i$  en el tiempo  $t$ .*

Finalmente, cabe aclarar que el uso de variables adicionales como la precipitación y las variables no-observables departamentales son incluidas exclusivamente para evitar posibles sesgos por omisión de variables, es decir, que hay departamentos peruanos como en la región selvática en las que abundan las lluvias, mientras que en la costa no, asimismo, hay regiones como en la sierra que viven de la ganadería y agricultura a comparación de la costa, que son variables potenciales que pueden sesgar la estimación del verdadero efecto de la temperatura sobre el PBI.

---

<sup>24</sup> $X_i$  representa los factores geográficos, como ejemplo, la macro-región y el PBI per cápita inicial para cada departamento.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Método**

El método usado en este estudio es el hipotético-deductivo (el cual combina el método deductivo e inductivo).

En este método se cuenta con una base de datos y con las hipótesis que son derivadas de muchos estudios empíricos realizados a nivel mundial, mas no son hipótesis que se derivan directamente de algún modelo teórico de la literatura económica; aunque como se vio en el marco teórico, hay un esfuerzo por derivar dichas hipótesis desde algún modelo teórico.

Dichas hipótesis, por lo tanto, son sujetas a pruebas empíricas para su validación. Por ejemplo, en base a la observación realizada de un caso en particular se plantea un problema y este lleva a un proceso de inducción que lleva el problema a una teoría (o posibles teorías) para formular una hipótesis y que a través de un razonamiento deductivo se intenta validar la hipótesis empíricamente.

Por otro lado, el enfoque del estudio es cuantitativo, ya que se hace el análisis descriptivo y correlacional de las variables bajo estudio mediante un programa estadístico (Rstudio); además, se realizará un análisis econométrico de modelos de efectos fijos de datos de panel usando MCO para encontrar los estimadores WITHIN.

### **2.2. Tipo y nivel de investigación**

#### **2.2.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación utilizada en este estudio es la investigación aplicada dado que requerimos aplicar conocimientos teóricos económicos y econométricos orientadas a dar respuesta a un problema socio-económico específico.

### **2.2.2. Nivel de investigación**

Es descriptivo, correlacional y aplicada, ya que describe fenómenos socio-económicos en un espacio temporal y geográfico, su finalidad es describir y/o estimar parámetros que servirán para el objeto de estudio.

### **2.3. Población y muestra**

Primero, la unidad de análisis será a nivel departamental, ya que el Perú cuenta con diversas condiciones climáticas y diversas estructuras productivas que varían entre los departamentos.

Por lo tanto, la población total de los datos de panel abarca a los 24 departamentos en su dimensión transversal, y a partir del año 1981 (año desde el cual existen datos de las variables exógenas) hasta 2016 (año para el cual tuvieron su última actualización hasta el presente) en la dimensión temporal.

La estructura de los datos de panel de este estudio están balanceados (es decir, se cuenta con todos los datos de las variables en el periodo de estudio para todos los departamentos) haciendo un total de 35x24 datos.

### **2.4. Fuentes de información**

El tipo de fuente de información para la realización del estudio es la fuente de información secundaria, ya que usamos datos recolectados por organismos especializados en su campo. Dado que se consideró las siguientes fuentes de datos: para la variable endógena, PBI per cápita departamental, se usó el INEI; mientras que para las variables exógenas, principalmente Temperatura y Precipitación, se usó el producto PISCO-SENAMHI elaborada por SENAMHI.

### **2.5. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación que utilizaremos será el cuantitativo, el cual se lleva a cabo en los casos en los que es importante que un investigador tenga información procesable para llegar a conclusiones estadísticas, en donde los números proporcionan una mejor perspectiva para

tomar decisiones importantes ya que cualquier conclusión basada en números y análisis tendrá una mayor precisión.

## **2.6. Técnicas e instrumentos**

### **2.6.1. Técnicas**

Las principales técnicas que se utilizarán en la investigación, son:

- Análisis documental
- Estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios

### **2.6.2. Instrumentos**

Los principales instrumentos que se aplicarán en las técnicas, son:

- Ficha de registros de información
- Lenguaje de programación R y RStudio

### **III. RESULTADOS**

En este capítulo se analizarán los datos para cumplir con los objetivos que motivan el estudio.

Este capítulo está organizada de la siguiente manera: la sección 1 y 2 están dedicadas a los análisis gráficos de las variables a nivel país y a nivel departamental, respectivamente; la sección 3 presenta la réplica (para Perú) de la estimación de efectos de corto plazo de Kalkuhl and Wenz (2020), la sección 4 presenta la estimación de mediano plazo y la sección 5 presenta las estimaciones que apoyan a la estimación de mediano plazo.

#### **3.1. Clima y PBI per cápita promedio anual Perú: 1981-2016**

La Figura N° 6 muestra la evolución promedio nacional de las principales variables de este estudio. En la parte superior de la figura se encuentran la temperatura máxima y mínima de izquierda a derecha, respectivamente; mientras que en la parte inferior se encuentran la tasa de crecimiento del PBI per cápita y el PBI per cápita en niveles, igualmente ordenadas de izquierda a derecha.

El primer hecho interesante de la figura es el comportamiento de las temperaturas previo a este siglo. Por ejemplo, durante el periodo 1981-2000, tanto las temperaturas máximas y mínimas oscilaron alrededor de un promedio constante, línea de color verde de la figura; líneas que en ambas figuras representan los promedios de ambas temperaturas, de 24.16°C y 12.13°C, respectivamente.

Asimismo, podemos ver que dicha oscilación simula bastante bien el comportamiento de la tasa del crecimiento del PBI per cápita durante todo el periodo de análisis.

El siguiente hecho interesante es que podemos notar que durante este siglo (>2000) las temperaturas máximas y mínimas, y el PBI per cápita compartieron una tendencia marcadamente ascendente.

Por lo tanto, de ambos hechos se puede concluir que, a nivel nacional:

1. Las temperaturas cambiaron de comportamiento durante el presente siglo (XXI). Debido al “famoso calentamiento global-acelerado” pasaron a adquirir tendencia ascendente al igual que el PBI per cápita en niveles, y por lo tanto
2. las temperaturas comparten tanto la tendencia con el PBI per cápita como la volatilidad con el  $\Delta PBI$  per cápita,

### **3.2. $\Delta PBI$ per cápita promedio anual departamental: 1981-2016**

No obstante al similar comportamiento tendencial y cíclica de las variables climáticas y del PBI per cápita (y su tasa de crecimiento) a nivel país, se debe considerar el hecho de que Perú tiene una gran diversidad climática (mínimamente 8 tipos de climas para cada una de las 8 regiones naturales) que puede suponer que este comportamiento sea diferente para cada departamento dependiendo de la región al cual pertenece.

Por ejemplo, la región natural a la cual pertenece Cajamarca-Sierra (según Inga and Cosa-valente (2015)), definirá parcialmente su base productiva, Agropecuaria (según Gestión (2019b)) y de ahí que el impacto a nivel nacional dependerá de su contribución al PBI nacional del sector agrícola (5.4 % al PBI en 2019, según Andina (2021)); de manera que es posible que los cambios climáticos en Cajamarca tengan impactos significativos en su actividad productiva, mas no así a nivel nacional.

Por otro lado, está claro que la región natural estará relacionada a un tipo de clima en particular (por ejemplo, es imposible que la temperatura mínima de Puno sea experimentada en Piura o en Tumbes).

Por lo tanto, es posible que los efectos del cambio climático a la actividad económica sea diferente a lo largo de los departamentos (pueda que sea beneficioso para algunos y perjudicial para otros).

Para ver dicha diferencia en el caso peruano, por ejemplo, véase la Figura N° 3, que resume el cambio en las temperaturas predominantes del periodo 2005-2016 versus las temperaturas predominantes del periodo 1982-1993 (el primer panel de la figura, de arriba, máxima, a abajo,

mínima) así como el cambio en la producción predominante del periodo 2005-2016 versus la producción predominante del periodo 1982-1993 (el segundo panel de la figura, que representa la tasa de crecimiento del PBI per cápita departamental durante los dos periodos).

En dicha figura se puede apreciar claramente los siguientes puntos:

1. el evidente calentamiento de las temperaturas para todos los departamentos durante el periodo 2005-2016 respecto a las temperaturas del periodo 1982-1993,
2. que dicho calentamiento fue considerablemente alto (+0.5°C y +0.8°C, en las temperaturas mínimas y máximas, respectivamente) para los departamentos en el centro-sur (Ayacucho, Arequipa, Ica, Cuzco, y Puno, por ejemplo) que para aquellos ubicados en el norte del país (Lambayeque, Piura, y Tumbes, por ejemplo),
3. parte de los departamentos que experimentaron este aumento (Ayacucho, Ica y Cuzco, por ejemplo) experimentaron también un crecimiento del PBI per cápita considerablemente alto respecto al periodo 1982-1993;

De manera que las temperaturas a nivel país perderán información crucial sobre las diferentes anomalías climáticas departamentales (las temperaturas extremas, por ejemplo, de 2°C y 32°C) y sobre sus posibles efectos diferenciados en su actividad económica.

Por tales diferencias es conveniente considerar la hipótesis de que las condiciones climáticas, en  $\delta_i$  (diferentes a la temperatura y precipitación, como por ejemplo, la región natural, altitud, etc) afectan heterogéneamente a la actividad económica y que a su vez condicionan a la temperatura y precipitación, ver ecuación 22. Supuesto que, por ejemplo, es asumida en Chirinos et al. (2021), Li et al. (2020), Olper et al. (2021) y Kalkuhl and Wenz (2020). De manera que se justifica el uso de la ecuación 19 y su estimación en base al modelo de efectos fijos de datos de panel.

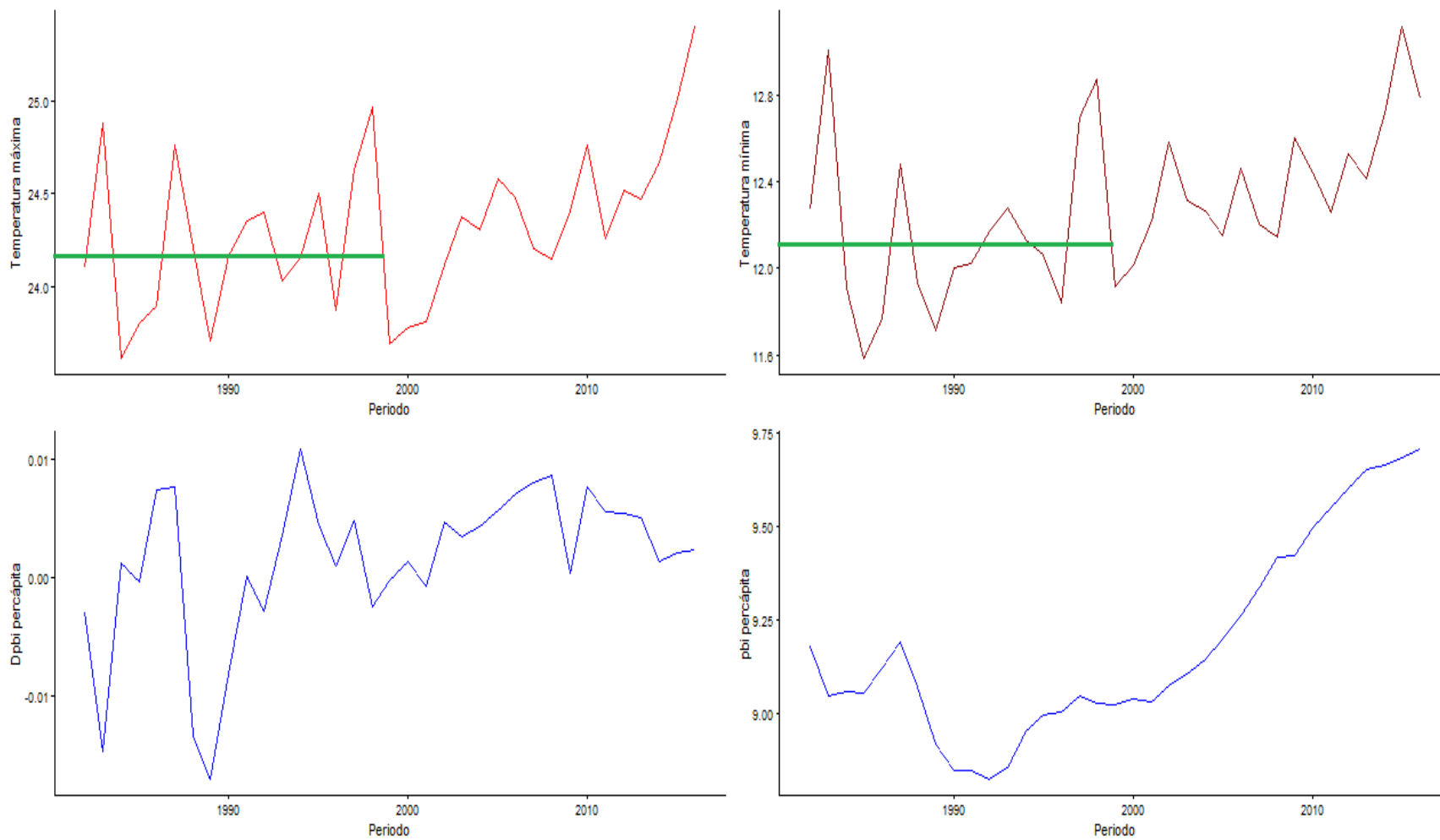
$$\text{COV}(\delta_i, f(T_{i,t}, P_{i,t})) \neq 0 \quad (22)$$

Aunque, dado que el estudio no se adentra en la rigurosidad técnica detrás de los modelos econométricos de los datos de panel, por no haber sido estudiado en el pre-grado, se tratará de justificar (gráficamente) los principales supuestos (como el de la ecuación anterior con la figura N° 3) y usar estadísticos robustos para la validación de las estimaciones de los efectos de corto plazo.

Adicionalmente, dada las variables exógenas y endógenas de este estudio, si se consideran los siguientes elementos se puede justificar la validez de la metodología aplicada (por estar basado en estudios más especializados):

1. análisis visual de la posible distribución heterogénea de  $\Delta$ PBI per cápita, tanto a nivel temporal como departamental (como justificador de la satisfacción de la ecuación 22),
2. dado el caso peruano, considerar algunas variables consideradas en Chirinos et al. (2021) (como justificador adicional del uso de efectos fijos en datos de panel para Perú), y
3. considerar la forma funcional del modelo de Kalkuhl and Wenz (2020) (como justificador de la correcta especificación del modelo econométrico)

**Figura 2:**  
*Series Nacionales*



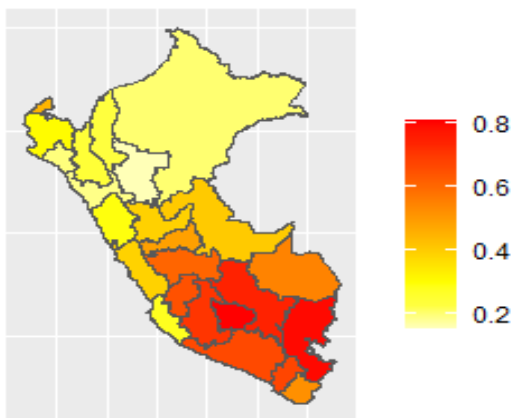
52

*Nota.* Elaboración Propia. Fuente: INEI, SENAMHI.

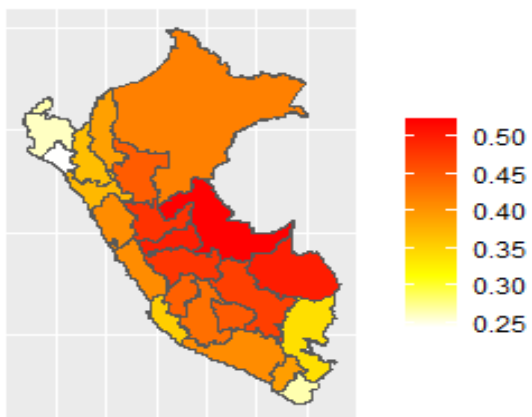
**Figura 3:**  
*Serie departamentales*

*(1982-1993) versus (2005-2016)*

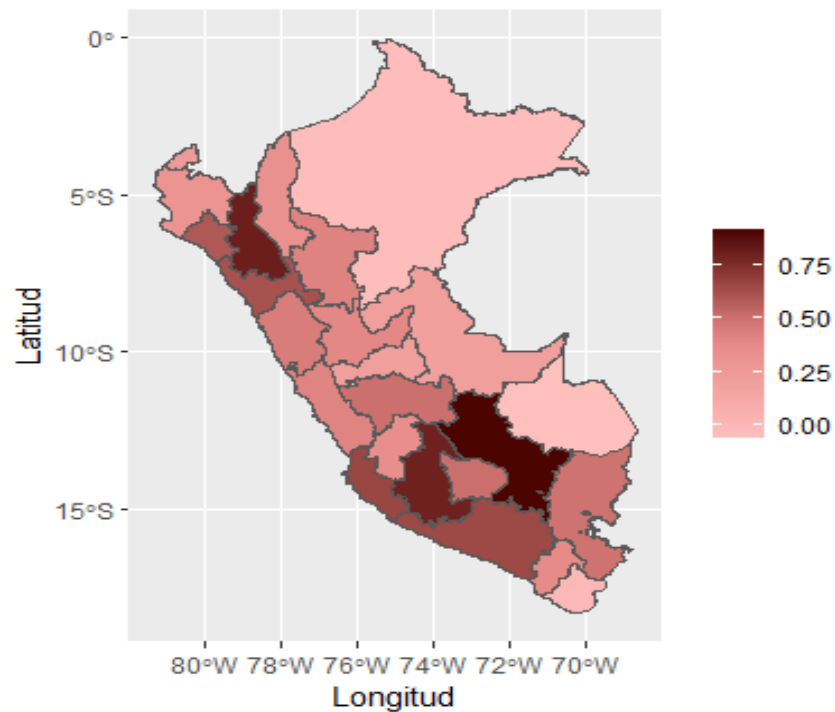
$\Delta$ temperatura máxima promedio



$\Delta$ temperatura mínima promedio



$\Delta$ pbipc promedio



*Nota.* Elaboración Propia. Fuente: INEI, SENAMHI.

### 3.2.1. Análisis de heterogeneidad temporal

En la Figura N°4 se muestran los promedios de la variable endógena a lo largo de todos los departamentos para cada año desde 1982-2016,  $\Delta PBI_{pc}$ .

En la figura se nota que dicho promedio presenta una amplia variabilidad durante el periodo 1982-2000 y leve variabilidad durante 2001-2016; y exceptuando los puntos en círculos rojos que representan años del fenómeno del niño, los intervalos de confianza (líneas verticales azules) varían de año en año.

De manera que exceptuando el siglo actual, durante el periodo 1982-2000 hay mucha heterogeneidad en la variable endógena a nivel temporal.

### 3.2.2. Análisis de heterogeneidad departamental

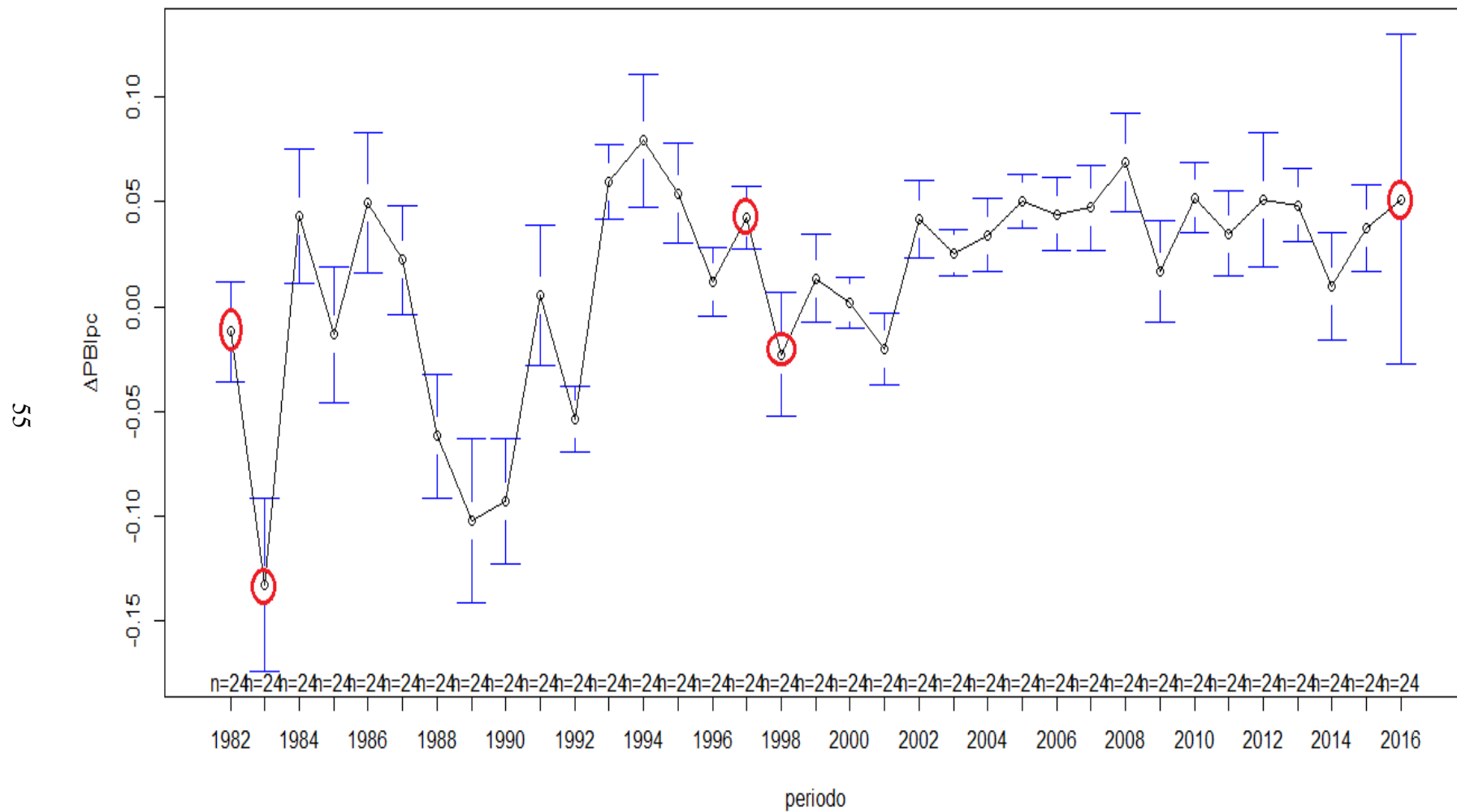
En la Figura N° 5 se muestran los promedios de la variable endógena durante todo el periodo 1981-2016 para cada departamento ordenado de A-Z,  $\Delta PBI_{pc}$ .

Lo más resaltante de la Figura es que a diferencia de la heterogeneidad temporal, en este (heterogeneidad departamental) no se tiene una amplia variabilidad y los intervalos de confianza se mantienen relativamente estables; sin embargo, es posible notar que departamentos entre Amazonas y Cusco (A-C), por ejemplo, pueden tener una media por encima de departamentos entre Huánuco y Lambayeque, así como de los departamentos entre San Martín y Ucayali.

No obstante a la poca variabilidad, la variación de por sí, es evidencia de heterogeneidad a nivel departamental.

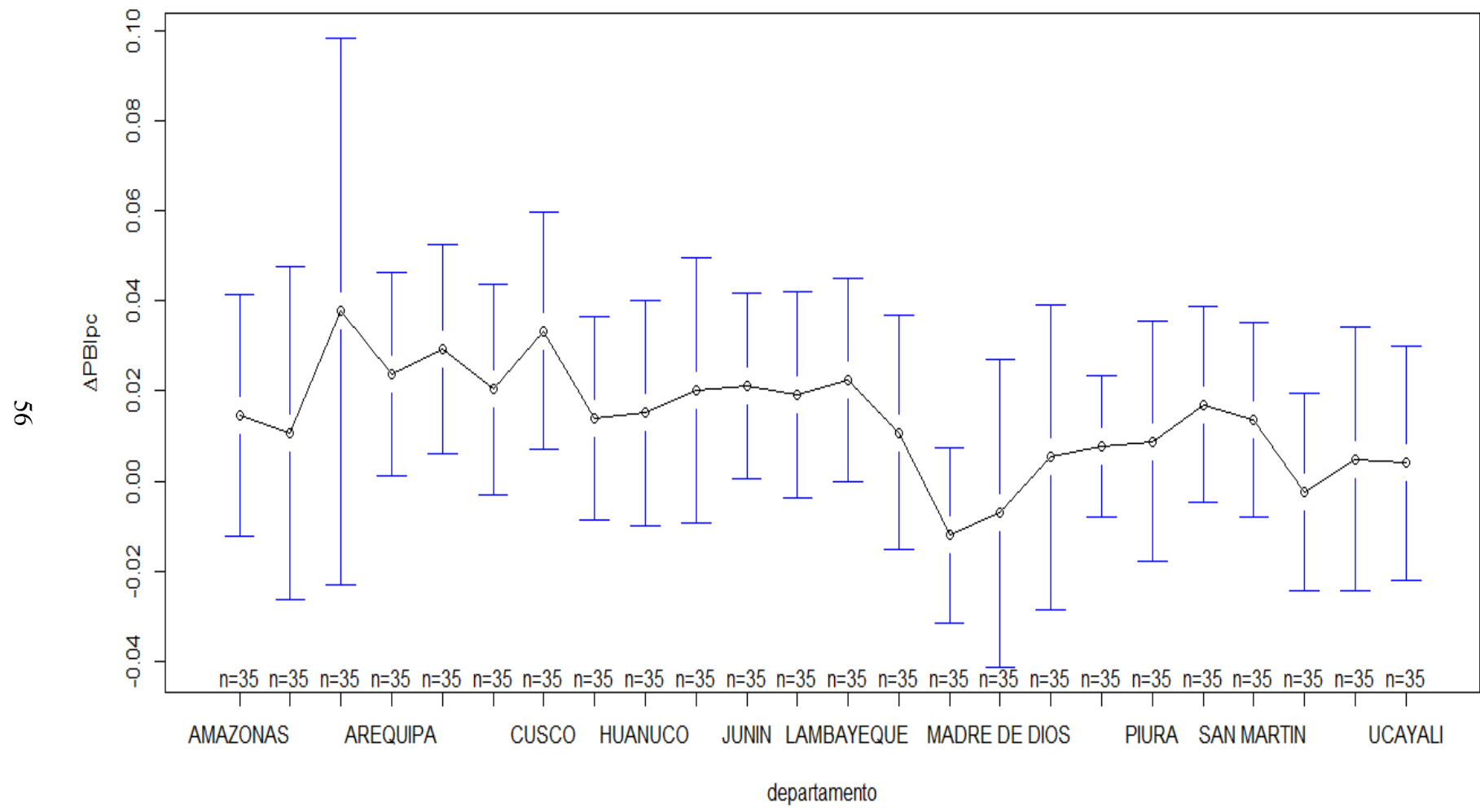
Finalmente, los datos peruanos evidencian la presencia de heterogeneidad a nivel departamental y temporal. De manera que se justifica que la ecuación 22 se cumple para el caso peruano, así como el uso del modelo de efectos fijos (controlando por dummies temporales, por ejemplo, años del fenómeno del niño) para la estimación de los efectos del corto plazo del cambio climático en la tasa de crecimiento del PBI per cápita peruano.

**Figura 4:**  
**Promedio  $\Delta$ PBI per cápita: anual**



Nota. Elaboración Propia. Fuente: INEI, SENAMHI.

**Figura 5:**  
**Promedio  $\Delta PBI$  per cápita: departamental**



Nota. Elaboración Propia. Fuente: INEI, SENAMHI.

### 3.3. Estimación de los efectos de corto plazo

Bajo los supuestos de heterogeneidad, la ecuación 22, y el de exogeneidad estricta de las variables climáticas, tenemos que los estimadores WITHIN del efecto inmediato mostrados en la Tabla N° 1, coeficientes de  $\Delta T_{i,t}$ , serán insesgados y eficientes:

$$E(\epsilon_{i,t}, f(\mathbf{T}_{i,t})) = 0 \quad (23)$$

En primer lugar, se puede ver que los modelos más parsimoniosos, (1) y (2) de la Tabla N° 1, presentan una estimación no significativa (robusta a heterocedasticidad) de la relación negativa e inmediata entre el cambio climático,  $\Delta T_{i,t}$ , y la tasa de crecimiento del PBI per cápita. Esto se debe por ejemplo, a la significancia del fenómeno del niño,  $FEN_t$ , que captura la mayor parte de este fenómeno inmediato.

Sin embargo, es probable que estas especificaciones padezcan de poder de ajuste, como se puede ver en los reducidos  $\hat{R}^2$ . Esto debido a que se puede estar omitiendo el hecho de que las variables climáticas tengan efectos no lineales sobre la actividad económica.

Para considerar estos posibles efectos no-lineales y obviar, por el momento, los años del fenómeno del niño peruano, véase las especificaciones (3)-(5).

En esas especificaciones se mantiene el signo negativo del efecto inmediato del cambio de la temperatura,  $\Delta T_{i,t}$ , y se gana significancia estadística; y en donde, además, el modelo (5) estima una relación negativa y significativa del efecto inmediato de la precipitación,  $\Delta \ln(P_{i,t})$ , sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita,  $\Delta PBI$  per capita.

Por otro lado, las especificaciones (6)-(8) consideran el hecho de que los fenómenos del niño más graves en el Perú (1982-1983, 1997-1998, y 2016-2017) puedan tener efectos inmediatos y estar siendo omitidas (y sesgando las estimaciones).

En estas especificaciones, se puede ver que el signo del efecto inmediato de los cambios en la temperatura promedio se mantiene negativo, así como el signo de los cambios en la precipitación y el de los periodos de fenómenos del niño más graves. Siendo indicio de que el cambio

climático tiene efectos inmediatos y robustos sobre  $\Delta PBI$  per capita.

Finalmente, en base al criterio de selección bayesiana (BIC, o criterio de selección de Schwarz) obtenido para cada una de las especificaciones (última fila del cuadro  $N^\circ 1$ ), el modelo seleccionado es el modelo (8). Del cual se concluye que el cambio climático tiene un efecto inmediato en  $\Delta PBI$  per capita. Significa que el aumento de la temperatura promedio anual en  $1^\circ\text{C}$ , por ejemplo, reduce  $\Delta PBI$  per capita peruano en 8.5 %.

### 3.4. Estimación de los efectos de mediano plazo (long-difference)

Como se vio previamente, la estimación del modelo de efectos fijos de datos de panel es una herramienta potente para capturar los efectos de corto plazo, porque aprovecha las variaciones inter-anales de las variables climáticas respecto a su promedio histórico y así estimar su impacto sobre  $\Delta PBI$  per cápita. Sin embargo, es muy probable que no capture los efectos de mediano-largo plazo, efectos que ocurren en plazos más distantes (no solo inter-anales). De manera que los estimadores de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  del modelo 19 en base al estimador WITHIN de la Tabla  $N^\circ 1$  (coeficientes de  $T_{i,t}$  y  $T_{i,t}^2$ ) no necesariamente capturan los efectos de mediano plazo.

Por tal razón se recurre a la estimación por medio de la aproximación de *long-difference*.

Para ello, en este estudio se dividió el periodo de estudio (1981-2016) en 3 sub-periodos. El primer sub-periodo abarca los años de 1981 a 1993, el segundo sub-periodo abarca los siguientes 11 años (1994-2004), y el tercer periodo abarca los últimos 12 años (2005-2016).

La idea principal es estimar el efecto del cambio de la temperatura promedio de un sub-periodo “b”,  $T_{i,b}$ , respecto a otro sub-periodo “a”,  $T_{i,a}$ , ( $\Delta T_{i,b,a} = T_{i,b} - T_{i,a}$ ) sobre el crecimiento del PBI per cápita entre los dos sub-periodos,  $\Delta PBIpc_{i,b,a} = \ln(PBIpc_{i,b}) - \ln(PBIpc_{i,a})$ . De manera que al aprovechar variaciones de largo periodo se está aproximando a la estimación de mediano plazo.

Por lo tanto, se espera que en la estimación de *long-difference*, ecuación 20, los efectos de corto plazo ya no sean significativos (es decir, los coeficientes de  $\Delta T_i$  y  $T_i \Delta T_i$ ) y que los efectos de mediano plazo capturadas por los coeficientes de  $T_i$  y  $T_i^2$  ( $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ ) ganen significancia y

capturen el efecto de mediano plazo.

La Tabla N° 2 presenta las estimaciones de este modelo planteado en el diseño de la investigación, ecuación 20.

Las primeras 3 columnas, (1)-(3), presentan distintas especificaciones para capturar el efecto del cambio climático en el mediano plazo del periodo 2005-2016 (b) respecto al periodo 1994-2004 (a):

$$g_{i,b,a} = \alpha \Delta \mathbf{T}_{i,b,a} + \beta \mathbf{T}_{i,a} \Delta \mathbf{T}_{i,b,a} + \gamma_1 \mathbf{T}_{i,a} + \gamma_2 \mathbf{T}_{i,a}^2 + \lambda X_i + \epsilon_i \quad (24)$$

Mientras que las últimas 3 columnas, (4)-(6), presentan distintas especificaciones para capturar el efecto del cambio climático en el mediano plazo para periodos más lejanos, del periodo 2005-2016 (b) respecto al periodo 1981-1993 (a).

Ahora bien, dado el cumplimiento de los supuestos de normalidad y de homocedasticidad al 5 % del nivel de significancia (prueba Kolmogorov-Smirnov y Breusch-Pagan, respectivamente), se puede considerar los resultados mostrados en la Tabla N° 2, y notar que el grado de ajuste de los modelos es relativamente alto, ya que como mínimo, logran explicar el 35 % de la variación de la tasa de crecimiento en los dos periodos, y como máximo, el 65 % de dicha variabilidad.

De manera que los resultados más interesantes sobre los coeficientes de interés son:

1. en periodos no tan distantes, modelos (2) y (3), los efectos de corto plazo (coeficiente de  $\Delta T_i$ ) aún tienen efectos significativos sobre la tasa de crecimiento inter-periodo del PBI per cápita. Esto refleja la poca “adaptación” de la economía peruana al cambio climático en una década.
2. inclusive para dichos periodos, estos efectos de corto plazo son más altas para los departamentos del centro del país que para el resto de los departamentos,
3. no obstante, para periodos más distantes, modelos (4)-(6), los efectos de corto plazo así como los efectos de la ubicación geográfica del departamento pierden significancia estadística

(lo cual es de esperarse, ya que durante periodos más alejados la economía “logra” adaptarse a cambios climáticos de corto plazo y solo sean vulnerables a los efectos perdurables de mediano-largo plazo)

4. otro resultado interesante es la influencia del PBI per cápita inicial de cada departamento en  $\Delta PBI$  per cápita. Se puede ver que para periodos más alejados, los departamentos con mayor PBI per cápita inicial tienden hacia un menor crecimiento, mientras que los departamentos con menor PBI per cápita inicial tienden hacia un mayor crecimiento (esto es la convergencia económica de la teoría del crecimiento económico<sup>25</sup>),
5. finalmente, el resultado más importante es la robustez de los coeficientes de mediano plazo de  $T_i$  y  $T_i^2$  ( $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ , respectivamente) que sugieren la presencia de efectos del clima sobre  $\Delta PBI$  per cápita en el mediano plazo. El signo se mantiene así como la significancia estadística para todos los modelos a excepción del modelo (2) para  $\gamma_2$ .

Ahora bien, los modelos más adecuados de entre todas las especificaciones presentadas (según los criterios AIC y BIC) son: el modelo (1) para la comparación del periodo 2005-2016 versus 1994-2004, y el modelo (4) para 2005-2016 versus 1981-1993.

Sin embargo, el signo del impacto de la temperatura, tanto en el modelo (1) como en el (4) dependerá de la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial g_{i,b,a}}{\partial T_{i,a}} = \beta \Delta T_{i,b,a} + \gamma_1 + 2\gamma_2 T_{i,a} \quad (25)$$

Dicha ecuación es la derivada parcial del modelo, ecuación 24, respecto a la temperatura promedio del periodo anterior, que representa el efecto marginal de la temperatura sobre  $\Delta PBI$  per cápita,  $g_{i,b,a}$ .

De manera que asumiendo que la temperatura aumenta  $1^\circ C$  en el periodo “b” respecto al periodo “a”,  $\Delta T_{i,b,a} = 1^\circ C$ , el signo para el modelo (1) será:

---

<sup>25</sup>La convergencia económica alude al proceso mediante el cual las regiones pobres crecen relativamente más rápido que las regiones ricas, por lo que en el largo plazo el PBI per cápita tiende a igualarse entre regiones.

$$\frac{\partial g_{i,b,a}}{\partial T_{i,a}} = 0,18 - 0,00654T_{i,a} (\leq 0, \forall T_{i,a} \geq 27^{\circ}C) \quad (26)$$

mientras que para el modelo (4) será:

$$\frac{\partial g_{i,b,a}}{\partial T_{i,a}} = 0,302 - 0,01484T_{i,a} (\leq 0, \forall T_{i,a} \geq 20^{\circ}C) \quad (27)$$

De las ecuaciones anteriores, 26 y 27, se nota que el efecto de la temperatura promedio sigue siendo negativo para temperaturas prevalecientes superiores a 20°C; de manera que la economía peruana aún no se adapta a cambios climáticos en el mediano plazo, dada la significancia estadística de  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ .

Por otro lado, los dos análisis presentados hasta en momento (modelos de efectos fijos y *long-difference*), trataron de analizar por separado los efectos del cambio climático sobre la tasa de crecimiento del PBI per cápita. Esto es por medio del nivel de productividad (modelos de efectos fijos) y por medio de la tasa de crecimiento de la productividad laboral (*long-difference*).

Sin embargo, para terminar con el análisis de mediano plazo, conviene analizar el efecto de los indicadores climáticos en el PBI per cápita considerando ambas vías. Para ello, se analiza el efecto del cambio climático sobre el PBI per cápita en niveles durante un periodo considerablemente largo, es decir, usar la ecuación 21 para los sub-periodos analizados hasta el momento.

**Tabla 1:****Resultados de regresión de panel**

(1)-(8) especificaciones del modelo panel para los efectos anuales del cambio climático sobre cambios en el logaritmo del PBI per cápita ( $\approx \Delta \%PBIpc$ ). La temperatura promedio anual y la precipitación total anual están denotados por  $T$  y  $P$ .  $\Delta T$  y  $\Delta P$  se refieren a cambios anuales del clima (corto-plazo).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$\Delta T_{i,t}$	-0,003 (-0.45)	-0,006 (-0.23)	-0,075* (-1.77)	-0,085* (-1.92)	-0,098** (-2.16)	-0,06 (-1.34)	-0,07 (-1.57)	-0,085* (-1.82)
$T_{i,t}\Delta T_{i,t}$		0,0002 (0.12)	0,0027 (1.45)	0,003 (1.60)	0,004* (-1.96)	0,002 (1.12)	0,002 (1.29)	0,003* (1.68)
$T_{i,t}$			0,12** (2.03)	0,11* (1.89)	0,12** (2.03)	0,12** (2.19)	0,11** (2.03)	0,12** (2.19)
$T_{i,t}^2$			-0,002* (-1.79)	-0,002 (-1.60)	-0,002* (-1.8)	-0,002 (-1.59)	-0,001 (-1.38)	-0,002 (-1.60)
$\ln(P_{i,t})$			0,01 (0.82)		0,03*** (2.94)	0,012** (0.95)		0,034*** (3.35)
$\Delta \ln(P_{i,t})$				-0,008 (-0.85)	-0,02*** (-3.74)		-0,007 (-0.85)	-0,025*** (-3.68)
$FEN_t$	-0,031*** (-3.40)	-0,03*** (-3.37)				-0,04*** (-5.43)	-0,04*** (-5.46)	-0,04*** (-5.4)
$\hat{R}^2$	-0.0086207	-0.0098398	-0.008444	-0.0087144	6.8946e-05	0.019526	0.018721	0.028485
BIC	-1696.421	-1689.705	-1679.469	-1679.244	-1680.894	-1697.4	-1696.71	-1699.415

1. Estadísticos t-White robustos a heterocedasticidad entre paréntesis

2. \* $p < 0,10$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

**Tabla 2:****Resultados de regresión long-difference**

(1)-(6) especificaciones del modelo *long-difference*, para los efectos de mediano plazo del cambio climático sobre cambios en el logaritmo del PBI per cápita ( $\approx \Delta \%PBIpc$ ).

Logaritmo del PBI pc init, representa el punto de partida del PBI para cada departamento.

	Periodo (1994-2004) vs (2005-2016)			Periodo (1981-1993) vs (2005-2016)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Centro</i>	-1,83*	-2,58**	-2,32**	-2,49	-2,79	-2,54
	(-2.03)	(-2.34)	(-2.23)	(-1.71)	(-1.35)	(-1.38)
$\Delta T_i$	4,74	6,87*	5,49*	2,33	2,62	2,36
	(1.59)	(2.14)	(1.78)	(1.36)	(1.22)	(1.22)
$T_i \Delta T_i$	-0,201	-0,386*	-0,258	-0,0587	-0,101	-0,0599
	(-1.15)	(-2.11)	(-1.4)	(-0.682)	(-1)	(-0.640)
$T_i$	0,183***	0,240**	0,232***	0,302**	0,331*	0,306*
	(3.20)	(2.91)	(2.01)	(2.78)	(1.97)	(2.01)
$T_i^2$	-0,00327*	-0,00364	-0,00424*	-0,00742***	-0,00812*	-0,00753**
	(-1.93)	(-1.73)	(-2.14)	(-3.34)	(-2.14)	(-2.18)
$\ln(P_i)$	-0,000125**		-0,000106*	-0,000171**		-0,000170*
	(-2.22)		(-1.78)	(-2.22)		(-2.02)
$\Delta \ln(P_i)$		-0,00164	-0,00102		-0,000820	-0,00005
		(-1.51)	(-0.95)		(-0.631)	(-0.04)
$\ln(PBIpc_{init})$	-0,103	-0,0695	-0,104	-0,190**	-0,170*	-0,191**
	(-1.65)	(-1.09)	(-1.67)	(-2.76)	(-2.14)	(-2.63)
Macro región <sub>i</sub>	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Normalidad	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Homocedasticidad	sí	sí	sí	sí	sí	sí
$\hat{R}^2$	0.44	0.35	0.44	0.65	0.54	0.62
AIC	-29.18834	-25.57505	-28.80633	-13.37032	-6.811584	-11.37373
BIC	-16.22975	-12.61646	-14.66968	-0.4117282	6.147009	2.762912

1. Estadísticos t entre paréntesis

2. \* $p < 0,10$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

### 3.5. Estimación de los efectos de mediano plazo (cross-section)

Primero, se consideró como variables proxy del cambio climático a la precipitación y la temperatura, tanto mínimas, promedio como máximas.

Segundo, el autor menciona que no se puede incluir formas cuadráticas de la temperatura para esta relación econométrica, ya que este no impacta directamente de forma cuadrática al PBI per cápita; no obstante, sugiere incluir la forma más clásica de no-linealidad en base a bins de temperatura (cambios discretos de la temperatura, en intervalos de 4°C).

En ese sentido, la ecuación 21 quedará re-expresado como:

$$y_i = \sum_{k=1}^K \alpha_{b,i} B_k(T_i) + \lambda X_i + \epsilon_i \quad (28)$$

con  $B_k(T_i) = 1$  si  $T_i$  pertenece al intervalo (bin)  $B_k$ , y será 0 en caso no pertenezca a dicho intervalo.

Este estudio considera, además de los intervalos de temperaturas mínimas, promedio y máximas, a la precipitación,  $P_i$ , y al PBI per cápita de inicio de periodo,  $PBIpc_{init}$ , como variable de control.

Considerando dichos puntos, los resultados son mostradas en las tablas 3, 4 y 5 para los periodos 1981-1993, 1994-2004 y 2005-2016, respectivamente.

En primer lugar, dichos resultados fueron testeadas sobre el supuesto de normalidad (Kolmogorov – Smirnov) y homocedasticidad (Breusch-Pagan) y no rechazados al nivel de significancia del 10-5 y 1 %. De manera que al nivel de significancia del 1 % todos los modelos presentados presentan normalidad y homocedasticidad.

En segundo lugar, la columna (1) de las tablas, 3-5, muestran los resultados considerando a la temperatura mínima como indicador de la temperatura; la columna (2) considera a la temperatura promedio, y la columna (3) considera a la temperatura máxima. Asimismo, en las 3 tablas, las temperaturas toman como base de comparación al nivel de temperatura de los departamentos con climas templados (17-23)°C.

Como es de esperarse, las temperaturas mínimas (por ejemplo, temperaturas  $\leq 14^{\circ}C$ ) tienen impacto no-significativo en la actividad productiva en cada departamento, esto puede ser una señal de que durante una década las regiones se adaptan a ese tipo de clima o de que las variaciones en las temperaturas mínimas hayan sido pequeñas, tales que pierdan impacto sobre la actividad económica.

Y efectivamente, en la Figura N° 3 se vió que el cambio de la temperatura mínima entre los periodos 2005-2016 versus 1982-1993 estuvo entre  $(0.25-0.5)^{\circ}C$ ; asimismo, en la figura, también se puede ver que la temperatura máxima sufrió cambios leves de  $(0.2-0.8)^{\circ}C$ , leves en el sentido de la capacidad de impactar en la magnitud del nivel del PBI per cápita. De manera que es probable que estos pequeños cambios durante toda una década, sean insuficientes para afectar al volumen de producción o que la actividad económica haya sido capaz de adaptarse.

Por otro lado, la columna (2) de las tablas 3 y 4 sugieren que los departamentos más fríos ( $\leq 17^{\circ}C$ ) y más calientes ( $\geq 23^{\circ}C$ ) que aquellos departamentos con climas templados,  $(17 - 23)^{\circ}C$ , serían las perjudicadas con las variaciones en la temperatura promedio. Mientras, que la columna (2) de la tabla 5 sugiere que esta relación se mantiene solo para aquellos departamentos más calientes.

Finalmente, la columna (3) de las 3 tablas, sugiere que los departamentos con temperaturas máximas muy altas ( $\geq 23^{\circ}C$ ) cada vez son las más perjudicadas con el calentamiento global a medida que nos acercamos al periodo actual 1981  $\rightarrow$  2016, siendo significativamente perjudicial para aquellos departamentos cuya temperatura máxima supera los  $30^{\circ}C$ .

Finalmente, para los 3 periodos de análisis no se encuentra robustez en la significancia estadística entre las 3 especificaciones del modelo 28. De manera que como se mencionó párrafos anteriores, esto se puede deber a la poca variabilidad de las temperaturas en periodos largos o que las regiones se adaptan a los cambios de las temperaturas, siendo solo vulnerables a cambios de temperaturas muy altas ( $\geq 30^{\circ}C$ , por ejemplo).

**Tabla 3:**  
**Resultados de regresión cross-section: 1981-1993**

(1)-(3) especificaciones del modelo *cross-section*, para los efectos de mediano plazo. Endógena  $\ln(PBIpc)$  y exógena, el promedio del periodo de las temperaturas mínimas (1), promedio (2) y máximas (3)

Dummy/ Variable	Periodo (1981-1993)		
	(1)	(2)	(3)
$[2 - 6)^{\circ}C$	0,0227 (0.566)		
$[6 - 10)^{\circ}C$	0,0769 (1.52)		
$[10 - 14)^{\circ}C$	0,0228 (0.55)	-0,0210 (-0.61)	
$[14 - 17)^{\circ}C$		-0,00258 (-0.06)	
<b><math>[17 - 23)^{\circ}C</math></b>	<b>0,0978</b> <b>(0,851)</b>	<b>0,0245</b> <b>(0,247)</b>	<b>0,0264</b> <b>(0,21)</b>
$[23 - 26)^{\circ}C$		-0,0624 (-1.47)	0,0402 (0.86)
$[26 - 30)^{\circ}C$		-0,220*** (-2.96)	0,0160 (0.41)
$[30 - 32)^{\circ}C$			-0,0843* (-1.87)
$\ln(P_i)$	-0,0191 (-1.42)	-0,00721 (-0.6)	-0,00994 (-0.69)
$\ln(PBIpc_{init})$	0,929*** (39.3)	0,952*** (42)	0,949*** (37)
Normalidad	sí	sí	sí
Homocedasticidad	sí	sí	sí
$\hat{R}^2$	0.9865	0.9899	0.9886
AIC	-49.36238	-55.72728	-53.27613
BIC	-41.116	-46.30285	-45.02975

1. Estadísticos t entre paréntesis
2. \* $p < 0,10$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$
3. Pruebas de normalidad y heterocedasticidad al 1 % de significancia.

**Tabla 4:**  
**Resultados de regresión cross-section: 1994-2004**

(1)-(3) especificaciones del modelo *cross-section*, para los efectos de mediano plazo. Endógena  $Ln(PBIpc)$  y exógena, el promedio del periodo de las temperaturas mínimas (1), promedio (2) y máximas (3)

Dummy/ Variable	Periodo (1994-2004)		
	(1)	(2)	(3)
$[2 - 6)^{\circ}C$	0,0626 (1.61)		
$[6 - 10)^{\circ}C$	0,0712 (1.64)		
$[10 - 14)^{\circ}C$	0,105** (2.71)	-0,0187 (-0.498)	
$[14 - 17)^{\circ}C$		-0,0334 (-0.735)	
<b><math>[17 - 23)^{\circ}C</math></b>	<b>0,0676 (0,21)</b>	<b>0,0450 (0,345)</b>	<b>0,206 (1,43)</b>
$[23 - 26)^{\circ}C$		-0,107** (-2.22)	0,00826 (0.17)
$[26 - 30)^{\circ}C$		-0,220*** (-2.96)	-0,0748* (-1.83)
$[30 - 32)^{\circ}C$			-0,0897 (2.02)
$Ln(P_i)$	0,0102 (0.73)	0,0186 (1.20)	0,00198 (0.12)
$Ln(PBIpc_{init})$	0,952*** (37.7)	0,984*** (34.1)	0,951*** (33.1)
Normalidad	sí	sí	sí
Homocedasticidad	sí	sí	sí
$\hat{R}^2$	0.9864	0.9863	0.9865
AIC	-52.29447	-51.43539	-52.45033
BIC	-44.0481	-42.01096	-44.20395

1. Estadísticos t entre paréntesis
2. \* $p < 0,10$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$
3. Pruebas de normalidad y heterocedasticidad al 1 % de significancia.

**Tabla 5:**  
**Resultados de regresión cross-section: 2005-2016**

(1)-(3) especificaciones del modelo *cross-section*, para los efectos de mediano plazo. Endógena  $Ln(PBIpc)$  y exógena, el promedio del periodo de las temperaturas mínimas (1), promedio (2) y máximas (3)

Dummy/ Variable	Periodo (2005-2016)		
	(1)	(2)	(3)
$[2 - 6)^{\circ}C$	0,000831 (0.01)		
$[6 - 10)^{\circ}C$	0,119** (2.26)		
$[10 - 14)^{\circ}C$	0,0379 (0.743)	0,00328 (0.06)	
$[14 - 17)^{\circ}C$		0,106* (1.86)	
<b><math>[17 - 23)^{\circ}C</math></b>	<b>0,759***</b> <b>(4,78)</b>	<b>0,774***</b> <b>(4,39)</b>	<b>0,666***</b> <b>(3,35)</b>
$[23 - 26)^{\circ}C$		-0,00964 (-0.143)	-0,0859 (-1.49)
$[26 - 30)^{\circ}C$		-0,0494 (-0.79)	-0,0141 (-0.248)
$[30 - 32)^{\circ}C$			-0,113* (-1.93)
$Ln(P_i)$	-0,0324* (-1.81)	-0,0286 (-1.48)	-0,0128 (-0.580)
$Ln(PBIpc_{init})$	0,841*** (24.7)	0,833*** (22.4)	0,860*** (21.9)
Normalidad	sí	sí	sí
Homocedasticidad	sí	sí	sí
$\hat{R}^2$	0.9718	0.9718	0.9699
AIC	-39.417	-38.83746	-37.86222
BIC	-31.17062	-29.41303	-29.61584

1. Estadísticos t entre paréntesis
2.  $*p < 0,10$ ,  $**p < 0,05$ ,  $***p < 0,01$
3. Pruebas de normalidad y heterocedasticidad al 1 % de significancia.

## IV. DISCUSIÓN

En esta sección se contrastarán las hipótesis específicas y la hipótesis general con los resultados obtenidos, para saber si se cumplió con los objetivos de la investigación; y en base a ello, los resultados se contrastarán con los antecedentes de la investigación.

### 4.1. Contrastando las hipótesis específicas

En general, los diferentes resultados obtenidos en las tablas presentadas; tablas 1, 2, 3, 4 y 5, testean la significancia estadística de las variables exógenas mediante el uso del estadístico t-student general:

$$t_{value} = \frac{\hat{\beta} - \beta}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}} \quad (29)$$

Con  $\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}$  como el error estándar muestral del estimador de  $\beta$ .

#### 4.1.1. Contrastando la hipótesis específica a)

Para esta hipótesis, recurrimos al análisis de la tabla 1, y hacer uso del estimador  $\hat{\sigma}_{\hat{\beta}}$  robusto a heterocedasticidad, por la presencia de heterogeneidad en la variable endógena.

Es decir que podría ser que el supuesto de homocedasticidad no se cumpla:

$$Var(\epsilon | \Delta T_{i,t}, \dots, FEN_t) = \sigma_i$$

Ya vimos que la heterocedasticidad está presente en la variable endógena, de manera que se usará este estadístico robusto para controlar por esta posibilidad.

La hipótesis a contrastar es la siguiente:

$H_0$ : En el corto plazo, el cambio en la temperatura no tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016.

$H_1$ : En el corto plazo, el cambio en la temperatura tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016.

El modelo seleccionado para esta hipótesis es el modelo (8) de la tabla N° 1. Según el cual, el cambio en las temperaturas y las precipitaciones ( $\Delta T_{i,t}$  y  $\Delta \ln(P_{i,t})$ ) explican significativamente ( $< 10\%$ ) una proporción de la variación de la tasa de crecimiento del PBI per cápita peruano. Cabe mencionar que este impacto es negativo.

#### **4.1.2. Contrastando la hipótesis específica b)**

$H_0$ : En el mediano plazo, el cambio en la temperatura no tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016.

$H_1$ : En el mediano plazo, el cambio en la temperatura tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento inter-anual del PBI per cápita en Perú durante el periodo 1981-2016.

Para esta hipótesis se distinguen dos periodos de análisis, el primer periodo más cercano de (1994-2004) versus (2005-2016) y el segundo periodo más alejado (1981-1993) versus (2005-2016).

El modelo seleccionado para esta hipótesis son los modelos (1) y (4) para ambos periodos, respectivamente. Ver la tabla N° 2.

Según las cuales, las temperaturas ( $T_i$ ,  $T_i^2$ ) explican significativamente ( $< 10\%$ ) una proporción de la variación de la tasa de crecimiento del PBI per cápita a nivel departamental entre ambos periodos de estudio. Cabe mencionar que este impacto es negativo, ver las ecuaciones N° 26 y 27.

#### **4.1.3. Contrastando la hipótesis específica c)**

$H_0$ : La temperatura no tiene un efecto negativo sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016.

$H_1$ : La temperatura tiene un efecto negativo sobre el PBI per cápita en el Perú durante el periodo 1981-2016.

Del análisis dedicado a esta hipótesis, se arroja indicios de que las temperaturas cálidas favorecen al volumen de producción y perjudican a aquellos departamentos más calientes y más

fríos; sin embargo, este impacto no se mantiene robusto a diferentes especificaciones en el modelo.

De manera que la investigación no cuenta con evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al 10 % del nivel de significancia.

## 4.2. Contrastando la hipótesis general

$H_0$ : El cambio climático no tiene efectos negativos sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016.

$H_1$ : El cambio climático tiene efectos negativos sobre el PBI en Perú durante el periodo 1981-2016.

Ante la falta de plantear un único modelo que agrupe los 3 análisis temporales vistos en la investigación; ver Kalkuhl and Wenz (2020), Li et al. (2020), Olper et al. (2021), etc, analizamos la significancia estadística de los 3 modelos elegidos para cada una de los análisis.

**Tabla 6:**  
*Significancia de los modelos*

MODELO	OBSERVACIONES	F-stat	p_value
<i>Panel***</i>	840	7.79	0.000
<i>Long – Difference** (1994-2004) vs (2005-2016)</i>	24	3.022	0,03129
<i>Long – Difference*** (1981-1993) vs (2005-2016)</i>	24	5.786	0,001905
<i>Cross – Section*** los 3 periodos y 3 especificaciones</i>	24	> 133,3	< 0,000

1.  $*p < 0,10$ ,  $**p < 0,05$ ,  $***p < 0,01$

Con el fin de testear la hipótesis general, la tabla anterior muestra los niveles de signifi-

cancia de cada modelo elegido, desde el corto plazo hasta el largo plazo.

De ahí que todos los modelos son estadísticamente significativos globalmente al nivel de significancia como mínimo del 5 %.

Finalmente, la investigación no puede evitar concluir que el cambio climático tiene efectos sobre el PBI en el Perú durante el periodo 1981-2016, y que dichos efectos son negativos.

### **4.3. Contrastando los resultados con los antecedentes**

En el corto plazo, el impacto negativo de los aumentos en la temperatura sobre el crecimiento del PBI per cápita en Perú va muy en línea con los hallazgos de nuestro antecedente Henseler and Schumacher (2019), Li et al. (2020), Kalkuhl and Wenz (2020), Olper et al. (2021) y Chirinos et al. (2021).

No obstante, la primera diferencia de nuestro estudio con el resto se presenta en el impacto de mediano plazo; ya que, el hallazgo del efecto negativo solo es compartido por Henseler and Schumacher (2019), Li et al. (2020) y Chirinos et al. (2021). Asimismo, el hallazgo de la relación en forma de U invertida, entre la temperatura y la tasa de crecimiento, solo es compartida por Henseler and Schumacher (2019) y Kalkuhl and Wenz (2020).

Por otro lado, al igual que Kalkuhl and Wenz (2020), los resultados sugieren que, el PBI per cápita en los departamentos con temperaturas altas ( $\geq 23$ ) serían las perjudicadas por las variaciones en la temperatura promedio respecto a los departamentos con climas templados ((17 – 23) $^{\circ}C$ ); mientras que, respecto a los departamentos con temperaturas frías, los resultados difieren con el antecedente, ya que la investigación encuentra que, estos departamentos también se verían perjudicadas por los aumentos en las temperaturas promedio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El principal resultado de la investigación es que los indicadores climáticos tienen incidencia significativa desde el corto hasta el mediano-largo plazo,
- El siguiente resultado inmediato es que dicha incidencia se traduce en una reducción de la tasa de crecimiento del PBI per cápita tanto en el corto como en el mediano plazo,
- de acuerdo al modelo de corto plazo elegido, el aumento de  $1^{\circ}C$  en la temperatura promedio reduce  $\Delta PBI_{pc}$  en 8.5 %,
- Asimismo, la economía peruana carece de rapidez para adaptarse al cambio climático en periodos de 10 años, siendo capaz de adaptarse a cambios durante los próximos 20 años,
- Es muy probable que los departamentos más fríos y más calientes sean perjudicados por el nivel de temperatura en comparación con departamentos con temperaturas cálidas ( $[17 - 23)^{\circ}C$ )

### RECOMENDACIONES

- Se asume que la heterogeneidad no observada,  $\eta_i$ , que afecta a  $\Delta PBI_{pc_{i,t}}$  departamental está correlacionada con los indicadores climáticos, de manera que la investigación carece de pruebas de elección de modelos de efectos aleatorios versus efectos fijos,
- se recomienda realizar la prueba de Hausman para elegir cuál modelo usar (considerando que dicha prueba no es una prueba de elección de modelos como tal),
- por otro lado, se recomienda considerar un análisis de sectores productivos como unidad de estudio, o unir las unidades geográficas con las sectoriales.

## REFERENCIAS

- Andina (2021). Sector agrario aporta 5.4 % del pbi y emplea a más de 4 millones de peruanos. *ANDINA, AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS*. <https://andina.pe/agencia/noticia-sector-agrario-aporta-54-del-pbi-y-emplea-a-mas-4-millones-peruanos-776467.aspx>.
- Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251):237–276. Retrieved from [https://www.rsc.org/images/arrhenius1896\\_tcm18-173546.pdf](https://www.rsc.org/images/arrhenius1896_tcm18-173546.pdf).
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., and 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(1):105–159.
- Barro, R. J. and Sala-i Martin, X. I. (2003). *Economic growth*. MIT press.
- Berg, K. A., Curtis, C. C., and Mark, N. C. (2021). Gdp and temperature: Evidence on cross-country response heterogeneity.
- BID and CEPAL (2014). La economía del cambio climático en el Perú. editores: Pereira, m.; sanchezaragon, l.; martínez, k.; ludeña, c. y c. de miguel. *Banco Interamericano de Desarrollo y Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
- Burke, M. and Hsiang, S. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527.
- Carrasco, J. C. L. (2014). El 9.5 % del pbi de Perú está expuesto al cambio en el clima. *Agencia Agraria de Noticias*. <https://agraria.pe/noticias/el-95-del-pbi-de-peru-esta-expuesto-al-cambio-en-el-clima-6375>.
- Chirinos, R. et al. (2021). Efectos económicos del cambio climático en el Perú. Technical report.

COMEXPERÚ (2021). El 41.7 % de los peruanos son pobres multidimensionales. *ComexPerú*. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/el-417-de-los-peruanos-s-on-pobres-multidimensionales#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20informaci%C3%B3n%20presentada%20para,una%20canasta%20b%C3%A1sica%20de%20consumo.>

Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (2019).

Deschênes, O. (2014). Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature. *Energy Economics*, 46:606–619.

Deschênes, O. and Greenstone, M. (2007). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *American economic review*, 97(1):354–385.

Dietz, S. and Stern, N. (2015). Endogenous growth, convexity of damage and climate risk: how nordhaus' framework supports deep cuts in carbon emissions. *The Economic Journal*, 125(583):574–620.

El Comercio (2014). Perú perdería hasta 15 % del pbi hacia 2100 por cambio climático. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/economia/peru/peru-perderia-15-pbi-2100-cambio-climatico-181600-noticia/>.

Fankhauser, S. and Tol, R. S. (2005). On climate change and economic growth. *Resource and Energy Economics*, 27(1):1–17.

Gestión (2019a). El cambio climático le costaría al Perú el 4.4 % de su pbi. *Gestión*. <https://archivo.gestion.pe/noticia/338848/cambio-climatico-le-costaria-alperu-4-su-pbi>.

- Gestión (2019b). Inei: ¿qué departamentos realizan mayor actividad agropecuaria y qué es lo que más se produce? *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/inei-departamentos-realizan-mayor-actividad-agropecuaria-produce-139109-noticia/>.
- Henseler, M. and Schumacher, I. (2019). The impact of weather on economic growth and its production factors. *Climatic change*, 154(3):417–433.
- Inga, A. and Cosavalente, I. (2015). Caracterización del departamento de cajamarca. *Banco Central de Reserva Del Perú, Sucursal Trujillo*, page 12.
- Kalkuhl, M. and Wenz, L. (2020). The impact of climate conditions on economic production. evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103:102360.
- Keeling, C. D. (1960). The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus*, 12(2):200–203. Retrieved from [https://scrippsco2.ucsd.edu/assets/publications/keeling\\_tellus\\_1960.pdf](https://scrippsco2.ucsd.edu/assets/publications/keeling_tellus_1960.pdf).
- Keynes, J. M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. Macmillan.
- Kuznets, S. (1934). *National Income, 1929-1932*. U.S. National Bureau of Economic Research. Retrieved from <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2258/c2258.pdf>.
- Lazo, J. K., Lawson, M., Larsen, P. H., and Waldman, D. M. (2011). Us economic sensitivity to weather variability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(6):709–720.
- Lecocq, F. and Shalizi, Z. (2007). how might climate change affect economic growth in developing countries?
- LEY N° 30754, LEY MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (2 de abril de 2018). *Diario Oficial El Peruano*.

- Li, C., Cong, J., and Gu, H. (2020). Could weather fluctuations affect local economic growth? evidence from counties in the people's republic of china. *Asian Development Review*, 37(2):201–224.
- Manual del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (2019).
- Meade, J. (1948). *An Introduction to Economic Analysis and Policy*. Oxford University Press.  
Retrieved from <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.166233/page/n27/mode/2up>.
- Moore, F. C. and Diaz, D. B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, 5(2):127–131.
- Mulama, O. N. and Kariuki, C. W. (2020). Panel analysis of the relationship between weather variability and sectoral output in kenya. *African Handbook of Climate Change Adaptation*, pages 1–17.
- Newell, P. (2021). *Introduction*, page 1–26. Cambridge University Press.
- Newell, R., Prest, B., and Sexton, S. (2018). The gdp temperature relationship: implications for climate change damages. resources for the future.
- Nordhaus, W. D. (1993). Rolling the 'dice': an optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Resource and Energy Economics*, 15(1):27–50.
- Nullis, C. (2018). El ipcc publica el informe especial sobre el calentamiento global de 1, 5° c. *Boletín-Organización Meteorológica Mundial*, 67(2):4–7.
- Olper, A., Maugeri, M., Manara, V., and Raimondi, V. (2021). Weather, climate and economic outcomes: Evidence from italy. *Ecological Economics*, 189:107156.
- Ouwehand, P. and van Ruth, F. (2014). *How unusual weather influences GDP*. Citeseer.

Piontek, F., Kalkuhl, M., Kriegler, E., Schultes, A., Leimbach, M., Edenhofer, O., and Bauer, N. (2019). Economic growth effects of alternative climate change impact channels in economic modeling. *Environmental and Resource Economics*, 73(4):1357–1385.

Re, S. (2021). World economy set to lose up to 18 % gdp from climate change if no action taken, reveals swiss re institute's stress-test analysis.

Rosell, M. (2009). Si la temperatura aumenta en 2°C, el Perú perdería 20 % del pbi al 2050. *Clima de cambios-PUCP*. <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/si-la-temperatura-aumenta-en-2c-el-peru-perderia-20-del-pbi-al-2050/>.

Stern, N. (2006). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press.

Stern, N. (2013). The structure of economic modeling of the potential impacts of climate change: grafting gross underestimation of risk onto already narrow science models. *Journal of Economic Literature*, 51(3):838–59.

Stone, R. (1947). *Definition and Measurement of the National Income and Related Totals*. United Nations.

SWISSINFO.CH (2021). Los problemas climáticos dejaron la economía brasileña en recesión técnica". *SWI*. [https://www.swissinfo.ch/spa/brasil-economia\\_los-problemas-climaticos-dejaron-la-economia-brasileña-en--recesion-tecnica-/47161186](https://www.swissinfo.ch/spa/brasil-economia_los-problemas-climaticos-dejaron-la-economia-brasileña-en--recesion-tecnica-/47161186).

The American Journal of Science and Arts (1856). *Second series, Volume 22*. Accessed: 2025-03-23.

Tyndall, J. (1861). On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radiation, absorption, and conduction. *Philosophical Transactions of the*

*Royal Society of London*, 151:1–36. Retrieved from <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rstl.1861.0001>.

Vargas, Paola, et al. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.

Weissman, I. (2021). Cambio climático y Chile: casi un tercio más pobre en 25 años si no hacemos nada. *El Mostrador*. <https://www.elmostrador.cl/el-semanal/2021/08/16/cambio-climatico-y-chile-casi-un-tercio-mas-pobre-en-25-años-si-no-hacemos-nada/#:~:text=El%20impacto%20en%20la%20econom%C3%ADa%20chilena.&text=En%20abril%2C%20la%20reaseguradora%20suiza,m%C3%A1s%20pobreza%20y%20mayor%20desigualdad>.

Wooldridge M., J. (2009). *Introducción a la econometría: un enfoque moderno*. Cengage Learning, 4 edition.

# ANEXOS

Enlaces de descarga de los datos y códigos de RStudio: [https://mega.nz/folder/EI1mVBgK#NEziYFMHqD5m0lFhJ\\_mM9Q](https://mega.nz/folder/EI1mVBgK#NEziYFMHqD5m0lFhJ_mM9Q)

**Figura 6:**  
**Solicitud de datos del PBI departamental desde 1980:**

## CORREO N° 6102 -2022/INEI-OTD: Solicitud de PBI por departamentos desde 1983

2 mensajes

Infoinei <INfoinei@inei.gob.pe>

1 de septiembre de 2022, 18:38

Para: "kevinhcm12@gmail.com" <kevinhcm12@gmail.com>

### CORREO N° 6102 -2022/INEI-OTD

Señor

**KEVIN HIMESON CAVALCANTI MUÑOZ**

Es grato saludarle cordialmente y con atención a su correo electrónico, remitimos información **disponible** del Producto Bruto Interno (PBI) departamental según actividades económicas valores a precios constantes de 1994, y Valores a precios corrientes, serie 1994-2012.

El **Producto Bruto Interno Departamental** a precios constantes de 1994, periodo 2001-2012, podrá consultar en la sección Biblioteca virtual/Publicaciones digitales/Temática Economía/Cuentas Nacionales, documento "**Cuentas Nacionales del Perú: Producto Bruto Interno por Departamentos 2001-2012**", enlace: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1104/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1104/index.html)

· PBI departamental con base 1979, serie 1970-1995

Adjuntamos información **disponible** del Producto Bruto Interno (PBI) departamental según actividades económicas valores a precios constantes de 1979, y Valores a precios corrientes, para la serie años 1970-1995.

De otro lado, sugerimos consultar en nuestra página web ([www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)), en la sección Biblioteca virtual/Publicaciones digitales/Temática Economía/Cuentas Nacionales, documento "**Perú: Producto Bruto Interno por Departamentos 2007-2020**" también disgrega el departamento de Lima en (Prov. Const. del Callao, Región Lima, Provincia de Lima); ver enlace del documento: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1794/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1794/)

**Por ejemplo** ver en: Capítulo 2: Cuadros Estadísticos del Producto Bruto Interno

· 2.3. Evolución del producto bruto interno departamental, según actividades económicas

Cabe señalar, **no se ha realizado trabajo de retropolación** para los años anteriores al 2007.

· También disponemos del PBI departamental con base 2007, serie 2007- 2021 (preliminar)

La información del PBI departamental contiene información que también disgrega el departamento de Lima en (Prov. Const. del Callao, Región Lima, Provincia de Lima). Dicha información, podría consultar en la misma ruta de líneas anterior, en la sección Biblioteca virtual/Publicaciones digitales/Temática Economía/Cuentas Nacionales, documento "**Perú: Producto Bruto Interno por Departamentos 2007-2021 (cifras preliminares)**", **Por ejemplo** ver cuadros en el **ítem 2.3. Evolución del producto bruto interno departamental, según actividades económicas**; El documento ver en el siguiente enlace: <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/publicaciones-digitales/>

Asimismo resaltar, la información publicada disgregada del departamento de Lima es a partir del año 2007.

Sin otro particular, quedamos de usted

Atentamente,

 Descripción: FIRMA 2022 CLOFLOTD

**TRANSCRIPCIÓN DE ACTA DE SUSTENTACIÓN**

En la ciudad de Ayacucho, el día 04 de octubre de 2024, a las 11:00 a.m. horas, en la Sala de Grados de la Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, se reunieron los miembros de la Comisión del Jurado Evaluador, conformado por los docentes: Econ. Juan Alberto Huaripuma Vargas, Econ. Paul Villar Andía, Econ. Vladimir Máximo Coral Amesquita y Econ. Narciso Marmanillo Pérez (Asesor-Jurado); bajo la presidencia del Dr. Pelayo Hilario Valenzuela, como Decano de la Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables, en el acto académico de la sustentación de tesis y actuando como secretaria Econ. Liz Marivel Arredondo Lezama;

El secretario da lectura de la Resolución Decanal N° 696-2024-UNSCH-FCEAC-D, de fecha 26 de setiembre de 2024, el cual declara expedito al bachiller KEVIN HIMESON CAVALCANTI MUÑOZ, para la sustentación de la tesis: **Efectos del cambio climático sobre el PBI, Perú 1981 - 2016**, para optar el título profesional de Economista.

Acto seguido el presidente de los jurados invita a la sustentante a dar inicio a la exposición de la mencionada tesis en un tiempo aproximado de treinta (30) minutos. Concluida la sustentación el presidente solicita a los miembros del jurado evaluador formular las preguntas y repreguntas necesarias para lo cual disponen de treinta (30) minutos, las mismas que fueron absueltas satisfactoriamente.

Concluida la sustentación, el presidente de los jurados invita a la sustentante y público asistente abandonar la sala de grados con la finalidad de deliberar y emitir la calificación correspondiente, con el siguiente resultado:

Jurado 1	12
Jurado 2	12
Jurado 3	10

Resultando aprobado por mayoría con el calificativo de ONCE (11)

Siendo las 13:00 p.m. horas del mismo día, se dio por concluido el acto académico y en fe de lo actuado firman al pie del presente los profesores: Dr. Pelayo Hilario Valenzuela (presidente), Econ. Juan Alberto Huaripuma Vargas, Econ. Paul Villar Andía, Econ. Vladimir Máximo Coral Amesquita, Econ. Narciso Marmanillo Pérez (Asesor - Jurado) y como secretaria Econ. Liz Marivel Arredondo Lezama.

Libro N° 04, con folio N° 369

Ayacucho, 28 de abril del 2025

Prof. Jesús Huamán Palomino

Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONOMICAS,  
ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES**DECANATO**

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD CON DEPÓSITO

N° 001-2025-EPE/FCEAC/UNSCH.

**1. Apellidos y nombres del investigador:**

✓ CAVALCANTI MUÑOZ, Kevin Himeson

**2. Escuela Profesional:** Economía**3. Facultad:** Ciencias Económicas, Administrativas y Contables**4. Tipo de trabajo académico evaluado:** Tesis.**5. Título del trabajo de investigación:**

Efectos del cambio climático sobre el PBI, Perú 1981 - 2016

**6. Software de similitud:** TURNITIN**7. Fecha de recepción:** 16-04-2025**8. Fecha de evaluación:** 24-04-2025**9. Evaluación de originalidad.**

Porcentaje de similitud	Resultado
• 8%	** APROBADO

- Consignar el porcentaje de similitud.
- \*\* Consignar **APROBADO** si se encuentra dentro del rango de porcentaje establecido, subsanar las observaciones o **DESAPROBADO** si se excede el porcentaje permisible de similitud.

Ayacucho, 24 de abril de 2025

Mg. Ruly Valenzuela Pariona  
Docente-Instructor

# Efectos del cambio climático sobre el PBI, Perú 1981 - 2016

*por* Kevin Himeson Cavalcanti Muñoz

---

**Fecha de entrega:** 24-abr-2025 09:40a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2655632816

**Nombre del archivo:** Kevin\_Himeson\_Cavalcanti\_Muñoz.pdf (943.46K)

**Total de palabras:** 20052

**Total de caracteres:** 102963

# Efectos del cambio climático sobre el PBI, Perú 1981 - 2016

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.unsch.edu.pe](https://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

1%

3

[repositorio.ulima.edu.pe](https://repositorio.ulima.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[www.bcrp.gob.pe](http://www.bcrp.gob.pe)

Fuente de Internet

<1%

5

Sanchez, Christian Santos Cornejo. "Impactos De Los Desastres Naturales En El Crecimiento economico De Peru Durante El Periodo 1960-2017: El Caso Del Agregado De Todos Los Desastres Naturales y De Los Relacionados Con El Clima", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021

Publicación

<1%

6

[luisalbertogmz.blogia.com](https://luisalbertogmz.blogia.com)

Fuente de Internet

<1%

7

[issuu.com](https://issuu.com)

Fuente de Internet

<1%

8

[p.pdfkul.com](https://p.pdfkul.com)

Fuente de Internet

<1%

9

Magdi S. Mahmoud. "Decentralized Control and Filtering in Interconnected Dynamical Systems", CRC Press, 2019

Publicación

<1%

10	<a href="http://revistas.ucv.edu.pe">revistas.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.usmp.edu.pe">repositorio.usmp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.conare.ac.cr">repositorio.conare.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://www.bcentral.cl">www.bcentral.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.academia.edu">www.academia.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
19	Silvina Elías. "Capital humano, calidad educativa y crecimiento económico", Estudios económicos, 2004 Publicación	<1 %
20	Juan Carlos Odar Z.. "Diferencias departamentales de crecimiento. Un análisis de convergencia para Perú: 1961-1996", Apuntes: Revista de Ciencias Sociales, 2000 Publicación	<1 %
21	<a href="http://es-static.z-dn.net">es-static.z-dn.net</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.up.edu.pe">repositorio.up.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo