

DOCUMENTOS DE **PROYECTOS**

# Modelo econométrico estructural de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático para América Latina y el Caribe

Luis Miguel Galindo  
José Eduardo Alatorre  
Jimmy Ferrer



NACIONES UNIDAS

CEPAL



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

# Modelo econométrico estructural de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático para América Latina y el Caribe

Luis Miguel Galindo  
José Eduardo Alatorre  
Jimmy Ferrer



NACIONES UNIDAS



Este documento fue preparado por Luis Miguel Galindo, Consultor, José Eduardo Alatorre y Jimy Ferrer, de la Unidad de Economía del Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco del apoyo a las actividades de la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC) implementadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) del Gobierno de España y la CEPAL.

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

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

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa ni con las de la RIOCC.

Publicación de las Naciones Unidas  
LC/TS.2023/190  
Distribución: L  
Copyright © Naciones Unidas, 2023  
Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago  
S.23-00810

Esta publicación debe citarse como: L. M. Galindo, J. E. Alatorre y J. Ferrer, "Modelo econométrico estructural de emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático para América Latina y el Caribe", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2023/190), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

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

## Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>Resumen</b> .....   | 5  |
| <b>Introducción</b> .....  | 9  |
| <b>I. Marco general</b> .....  | 11 |
| <b>II. Especificaciones econométricas del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup></b> .....                              | 13 |
| A. Producto interno bruto .....  | 13 |
| B. PIB y cambio climático .....  | 14 |
| C. Demanda agregada .....  | 16 |
| D. Energía .....   | 16 |
| E. Empleo y condiciones sociales .....   | 17 |
| F. Emisiones de gases de efecto invernadero .....  | 17 |
| G. Medio ambiente .....  | 18 |
| H. Infraestructura .....   | 18 |
| I. Precios .....   | 18 |
| <b>III. Base de datos</b> .....  | 19 |
| <b>IV. La evidencia econométrica</b> .....   | 21 |
| <b>V. Escenarios prospectivos</b> .....  | 29 |
| A. Escenario I: Escenario inercial (Business As Usual -BAU-) .....   | 29 |
| B. Escenario II: Escenario de efectos del cambio climático .....   | 31 |
| C. Escenario III: Escenario de precio al carbono .....   | 36 |
| D. Escenario IV: Escenario de transición climática con<br>precio al carbono y distribución del ingreso ..... | 39 |
| E. Escenario V: Escenario de riesgos de transición climática .....   | 41 |
| F. Análisis general de escenarios .....  | 43 |
| <b>VI. Resumen y conclusiones</b> .....  | 47 |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Bibliografía</b> ..... | 51  |
| <b>Anexos</b> .....       | 55  |
| <br>                      |   |
| <b>Cuadros</b>            |   |
| Cuadro 1                  | Estadísticos descriptivos de las variables incluidas en el ME <sup>3</sup> C <sup>3</sup> .....                                       |
| Cuadro 2                  | Bloque de Producto y cambio climático.....  |
| Cuadro 3                  | Bloque de Producto y demanda agregada.....  |
| Cuadro 4                  | Bloque de Consumo energía.....  |
| Cuadro 5                  | Bloque de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....   |
| Cuadro 6                  | Bloque de condiciones sociales.....   |
| Cuadro 7                  | Bloque de Medio ambiente.....   |
| Cuadro 8                  | Ecuación de precios (indicativa).....   |
| Cuadro 9                  | Escenarios BAU.....   |
| Cuadro 10                 | Efectos del cambio climático sobre el nivel del PIB.....  |
| Cuadro 11                 | Efectos del cambio climático sobre las tasas de crecimiento del PIB/PIB per cápita.....   |
| Cuadro 12                 | Escenario contrafactual de cambio climático: variables seleccionadas.....   |
| Cuadro 13                 | USD \$100 tCO <sub>2</sub> e <sub>t</sub> .....   |
| Cuadro 14                 | Escenario contrafactual de precio al carbono: variables seleccionadas.....  |
| Cuadro 15                 | Escenario contrafactual de precio al carbono: variables seleccionadas.....  |
| Cuadro 16                 | Escenarios para la transición climática.....  |
| Cuadro 17                 | Escenarios de tasas de crecimiento al 2050: Modelo IPAT.....  |
| Cuadro 18                 | Escenarios de las emisiones de CO <sub>2</sub> ee <sub>t</sub> al 2050: Modelo IPAT.....  |
| Cuadro 19                 | Resultados de las simulaciones de escenarios prospectivos al 2030.....  |
| <br>                      |   |
| <b>Gráficos</b>           |   |
| Gráfico 1                 | Tasas de crecimiento de algunas de las variables básicas del modelo.....  |
| Gráfico 2                 | Valores reales y simulados por el ME <sup>3</sup> C <sup>3</sup> .....  |
| Gráfico 3                 | Escenario inercial (BAU).....   |
| Gráfico 4                 | Temperatura y costos económicos del cambio climático en el nivel del PIB: revisión de la literatura.....                              |
| Gráfico 5                 | Temperatura y costos económicos del cambio climático en la tasa de crecimiento del PIB/PIB per cápita: revisión de la literatura..... |
| Gráfico 6                 | Escenario contrafactual de cambio climático.....  |
| Gráfico 7                 | Escenarios de mitigación y precio al carbono.....   |
| Gráfico 8                 | Escenario contrafactual de precio al carbono.....   |
| Gráfico 9                 | Escenario contrafactual de transición climática.....  |
| Gráfico 10                | Escenarios de las emisiones de energía (CO <sub>2</sub> ee <sub>t</sub> ) al 2050: Modelo IPAT.....                                   |
| Gráfico 11                | Síntesis de escenarios prospectivos al 2030.....  |
| Gráfico A1                | Los costos del cambio climático (Burke, et al., 2015).....  |
| <br>                      |   |
| <b>Diagramas</b>          |   |
| Diagrama 1                | Estructura del ME <sup>3</sup> C <sup>3</sup> .....   |
| Diagrama 2                | Precio al carbono, distribución de ingreso, consumo de energía y emisiones de gases efecto invernadero.....                           |

## Resumen

El objetivo de este estudio es construir un modelo econométrico estructural de pequeña escala, ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>, para analizar, por un lado, los potenciales efectos negativos del cambio climático sobre las actividades económicas y, por otro lado, para dar cuenta del impacto potencial que tienen los procesos de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en América Latina y el Caribe (ALC).

El ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> tiene su base conceptual en el enfoque neo-keynesiano y se construyó bajo la hipótesis de que el cambio climático es un desafío al desarrollo. En efecto, la magnitud de los efectos negativos del cambio climático sobre el conjunto de las actividades económicas, sus repercusiones sobre bienestar social y el medio ambiente y, simultáneamente, la magnitud de recursos y las transformaciones estructurales urgentes y generalizadas que se requieren instrumentar para llegar a una economía carbono neutral entre 2050-2070, implican modificaciones substanciales en las formas de producción y en los patrones de consumo que caracterizan al actual estilo de desarrollo. Más aun, estos procesos de mitigación para ser eficientes, creíbles y exitosos deben instrumentarse examinando sus interacciones con el conjunto de las actividades económicas y sociales. Esto es, el tránsito a una economía carbono neutral requiere una estrategia que considere la reducción de la vulnerabilidad climática y la descarbonización profunda de la economía, de modo que los países instrumenten una transición climática justa que incorpore ganancias económicas y mejoras sociales relevantes.

En este sentido, el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> tiene diversos bloques que buscan incorporar el conjunto de las interacciones entre los impactos del cambio climático y los procesos de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la dinámica económica y social que prevalece en los países de la región, buscando contribuir a la construcción de una estrategia de transición climática justa.

Los principales resultados agregados que se desprenden del modelo están relacionados con un conjunto de factores cuya consideración conjunta e integrada aportan información útil para la toma de decisiones en materia de política pública.

Las variables endógenas incluidas en el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> están estrechamente asociadas a la evolución del producto o del producto *per cápita*. Así, por un lado, se observa que el crecimiento económico se encuentra asociado, positivamente, con el aumento del consumo, con la expansión de la inversión productiva y con la reducción de la pobreza. Sin embargo, los valores estimados de las elasticidades estimadas muestran que la dinámica del proceso de crecimiento resulta insuficiente para atender los diversos desafíos económicos y sociales que implica la reducción persistente y duradera de la pobreza. Por el otro lado, el crecimiento económico se asocia, también con el aumento del consumo de energía, principalmente derivado de los combustibles fósiles, y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En este sentido, las estimaciones realizadas indican que una trayectoria de crecimiento inercial (*Business As Usual* -BAU-) no es consistente con la meta de conformar una economía carbono neutral entre 2050-2070 y que, también, resulta insuficiente para atender los desafíos sociales y distributivos que enfrenta la región. Más aún, la evidencia muestra que el actual estilo de crecimiento configura, realmente, un dilema de desarrollo, en la medida en que el crecimiento económico es necesario para atender los desafíos económicos y sociales, pero al mismo tiempo ocasiona un aumento de un conjunto de externalidades negativas, como el aumento de las emisiones de GEI, que son inconsistentes con un desarrollo ambientalmente sustentable.

Los valores estimados para las elasticidades precio de la demanda del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero son, en general, bajas, por lo que la respuesta de las diversas formas de consumo responsables de la generación de las externalidades ambientales negativas de energía asociadas ante movimientos de los precios relativos es limitada. Esto implica que un escenario de crecimiento económico continuo, en que se produzcan aumentos moderados de los precios relativos de los productos energéticos, no resultaría consistente con un proceso de descarbonización profunda, por lo que en ALC una estrategia de política orientada, exclusivamente, en el aumento de los precios relevantes presenta limitaciones importantes y no sería suficiente para atender los requerimientos que plantea una expansión económica ambientalmente sostenible.

Existen múltiples canales a través de los que se transmiten los efectos del cambio climático sobre las variables económicas, sociales y ambientales, y que operan como obstáculos para la construcción de una nueva estrategia de transición climática justa. En primer lugar, los efectos negativos del cambio climático en ALC que limitan las capacidades de crecimiento económico de largo plazo y por este canal (del producto) inciden sobre las principales magnitudes macroeconómicas y, a través de ellas, sobre dimensiones sociales y ambientales fundamentales para avanzar hacia un estilo de desarrollo ambientalmente sostenible y socialmente inclusivo. En segundo lugar, la dinámica de la distribución del ingreso, caracterizada a partir del índice de Gini, se encuentra asociada positivamente con los diferentes tipos de consumo de energía y con el conjunto de consumos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por el contrario, los cambios progresivos en la distribución del ingreso, asociados a procesos de reducción de la población en situación de pobreza y a disminuciones de la mortalidad infantil, se reflejan en menores emisiones de GEI.

Este conjunto de resultados muestra que construir una estrategia de mitigación de emisiones de GEI largo plazo en ALC debe considerar que la aplicación de un impuesto al carbono resulta fundamental para la construcción de una economía carbono neutral. Sin embargo, las bajas elasticidades precio de la demanda de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero y las altas elasticidades ingreso de la demanda de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub>e<sub>i</sub> indican que un aumento en rangos razonables de un impuesto al carbono sería insuficiente para una descarbonización profunda en un contexto de crecimiento económico continuo. Por otra parte, un aumento drástico del precio al carbono podría tener consecuencias negativas en el ritmo de crecimiento y podría ocasionar efectos, potencialmente, regresivos en la distribución del ingreso.

La evidencia disponible muestra que una mejor distribución del ingreso (que se refleja en una reducción de la pobreza y menor mortalidad infantil) contribuiría a reducir las emisiones de GEI a nivel agregado y que sería compatible con una estrategia de largo plazo compatible con una transición climática justa y estable. Los vínculos entre mejoras distributivas y menores emisiones de gases de efecto invernadero sugieren que sería factible la construcción de una coalición de intereses -políticos, económicos y sociales- para avanzar hacia una transición climática que contemple el necesario proceso de mitigación de las emisiones. En este contexto, deberán instrumentarse transformaciones estructurales profundas en las formas de producción y en las pautas de consumo compatibles con la sostenibilidad ambiental. Ello requiere avanzar en materia de eficiencia energética, apoyar una electrificación masiva de la actividad económica, fundamentalmente del transporte, en un contexto en que la generación de energía eléctrica se base en energías renovables.

La evidencia disponible muestra, además, que las economías de la región son sensibles a *shocks* externos, que se transmiten de diversas formas sobre el funcionamiento macroeconómico. El aumento de las tasas de interés internacionales influye sobre la dinámica de la inversión productiva y, por esta vía, sobre el producto. El aumento de los precios de petróleo, que influye sobre la demanda de energía y sobre las emisiones de GEI, impacta de forma directa sobre la demanda agregada e índice sobre el comportamiento de la inflación. La trayectoria del producto global influye en el ritmo de crecimiento de las exportaciones. El cambio climático tiene impactos negativos sobre el producto y la tasa de crecimiento del PIB. Este conjunto de *shocks* externos se encuentra directamente vinculado con el cambio climático, por lo que la nueva estrategia de desarrollo de largo plazo debería incorporar de forma explícita los vínculos entre la macroeconomía y la sostenibilidad ambiental.

El modelo está especificado de forma simple lo que permite seguir las lógicas de los impactos y canales de transmisión.





## Introducción

El cambio climático es un problema de desarrollo (Dell *et al.*, 2014). En efecto, el Acuerdo de París de Cambio Climático establece una meta límite de aumento de la temperatura global de entre 1.5°C y 2°C, lo que requiere llegar a una economía carbono neutral entre 2050 y 2070 (IPCC, 2018). Además, la evidencia reciente muestra que el cambio climático tendrá efectos negativos significativos, algunos irreversibles, y que serán más intensos en países de menor desarrollo y más calurosos, afectando el funcionamiento de múltiples actividades económicas e incidiendo sobre el bienestar social y el medio ambiente durante lo que resta del siglo (IPCC, 2014).

Asimismo, los procesos de mitigación de emisiones de GEI para llegar a una economía carbono neutral entre 2050-2070 en América Latina y el Caribe (ALC) implica instrumentar transformaciones estructurales sobre el actual estilo de crecimiento urgentes y de gran magnitud y, en simultáneo, incorporar procesos de adaptación que permitan construir una economía resiliente. La envergadura de los esfuerzos de mitigación y adaptación deben realizarse de forma eficiente, al menor costo posible. El avance hacia un desarrollo económico y social sostenible es en extremo complejo y requiere atender el desafío del cambio climático desde una perspectiva amplia en que se definan nuevos pilares macroeconómicos para la estrategia de desarrollo de la región.

En este contexto, adquiere singular relevancia avanzar en el análisis empírico de las estrechas interacciones existentes entre macroeconomía y cambio climático. A tales efectos, resulta fundamental el aporte que tiene la construcción de un modelo macroeconómico sencillo que integre ambas dimensiones y que contribuya a generar información útil para la definición y para la implementación de una nueva estrategia de desarrollo.

De este modo, este estudio tiene como objetivo la construcción de un modelo econométrico de pequeña escala para ALC (Modelo Econométrico Estructural de Emisiones de CO<sub>2</sub>e<sub>t</sub> y Cambio Climático, ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>). La estimación del modelo tiene como principal propósito la definición de escenarios para el análisis de política pública ante el cambio climático (Blanchard, 2018; Hantzsche *et al.*, 2018).

La base conceptual del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> tiene fundamento en los nuevos enfoques keynesianos (*New Keynesian Models*), poniendo el énfasis en las interacciones de las principales magnitudes macroeconómicas y un conjunto de variables asociadas al cambio climático y al medio ambiente, incluyendo a tales efectos un conjunto de bloques satélite (Bårdsen *et al.*, 2005). El modelo desarrollado integra la representación de las trayectorias históricas de las variables macroeconómicas con el uso potencial, con fines prospectivos, de variables *add factors* como mecanismo de ajuste, que permiten simular diversos tipos de *shocks* de política económica (Carnot *et al.*, 2005).

En este estudio se presentan las estimaciones del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> para ALC y se exponen los resultados de algunas simulaciones que permiten identificar potenciales efectos dinámicos ante diversos *shocks* que están asociados al cambio climático (por ejemplo, cambios en el precio del carbono). Los resultados de los ejercicios de simulación permiten apreciar la importancia que tiene ubicar al cambio climático en el centro del análisis macroeconómico, integrado con dimensiones esenciales de la estrategia de desarrollo económico y social de la región. Los escenarios son sólo ilustrativos y no representan pronósticos.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se expone de manera sintética el marco general del modelo ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>, estableciendo las principales hipótesis del mismo y subrayando su relevancia para el análisis de política pública en ALC. En la tercera sección se procede a presentar las especificaciones empíricas de las distintas ecuaciones de comportamiento que conforman el modelo. En la sección 4 se describe la base de datos considerada para implementar las estimaciones empíricas. En la quinta sección se presentan los principales resultados que se desprenden de las estimaciones realizadas. Finalmente, en la última sección se extraen conclusiones relativas a la importancia que tiene la integración de las dimensiones ambientales en el análisis macroeconómico de las economías de la región.

## I. Marco general

El ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> es un modelo de pequeña escala construido para propósitos de política pública que incluye un conjunto de ecuaciones de demanda que incorporan de forma explícita el papel que tienen variables relacionadas con el cambio climático sobre el comportamiento de los agentes económicos (Garratt *et al.*, 2003; Berg *et al.*, 2006; Galí y Gertler, 2007; Dell *et al.*, 2014; Blanchard, 2017; Wren-Lewis, 2017; Cermeño *et al.*, 2018). La estructura del modelo busca identificar relaciones de largo plazo, estimadas a partir de procedimientos econométricos de cointegración (Engle y Granger, 1992), y se construyó a partir de la integración de diversos bloques, cada uno de los cuales aprovecha la existencia de variables débilmente y fuertemente exógenas que se incorporan en las distintas ecuaciones de comportamiento. Las variables endógenas del modelo son, generalmente, funciones del nivel de actividad económica y de alguna variable de precios que aproxime potenciales ajustes entre la oferta y la demanda (Hantzsche *et al.*, 2018) y de las variables referidas al cambio climático.

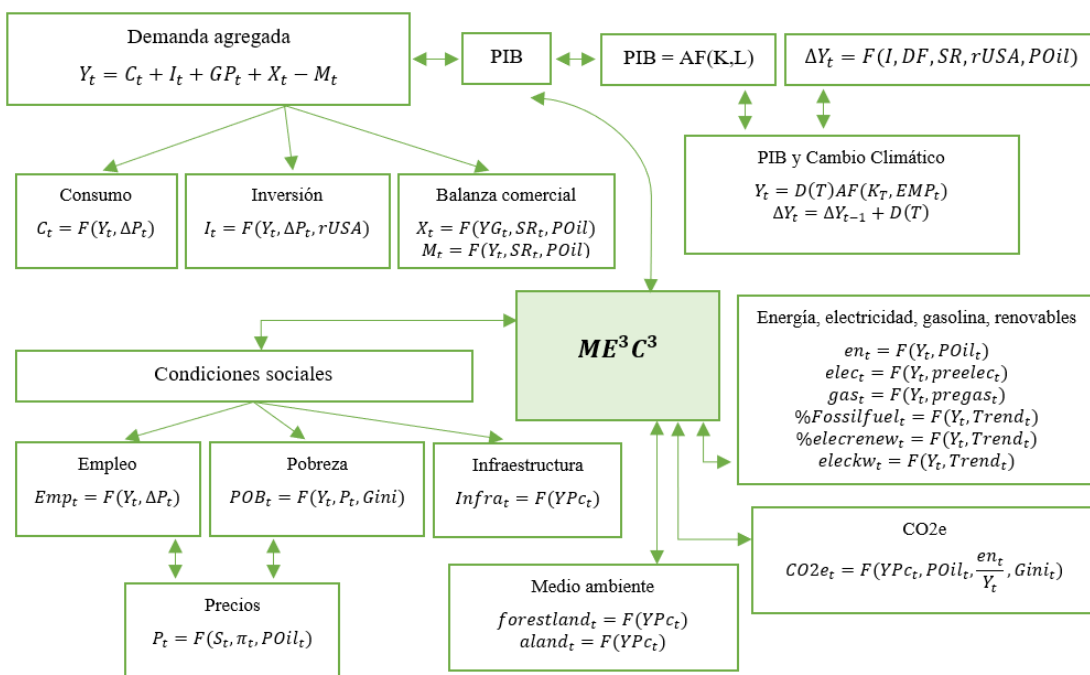
La nueva economía del clima argumenta que el cambio climático tiene costos significativos y generalizados sobre el conjunto de la economía, probablemente no lineales con puntos de inflexión e impactos irreversibles y donde estos impactos son más intensos en países pobres y más calurosos, como es el caso de los países de ALC (Dell *et al.*, 2012; Burke *et al.*, 2015). En este contexto se argumenta, además, que el cambio climático incide sobre la productividad y, por tanto, tiene efectos en la capacidad de crecimiento económico de largo plazo (Dell *et al.*, 2014).

Las variables ambientales y las externalidades negativas se integran en el modelo de acuerdo a un tipo de curva de Kuznets ambiental (Ekins, 1997). En este sentido, el modelo se especifica considerando que existe una relación -lineal o no lineal- entre el indicador de la calidad ambiental y el PIB *per cápita*. Así, inicialmente, se observa un deterioro de la calidad ambiental que con el aumento del ingreso *per cápita* se revierte paulatinamente (Shafik y Bandyopadhyay, 1992). Ello que se refleja en una relación en forma de U invertida (World Bank, 1992). No obstante, debe considerarse que la evidencia sobre la curva de Kuznets ambiental es mixta, observándose que para algunos contaminantes locales e indicadores de degradación ambiental el punto de inflexión es entre USD \$5,000 y USD \$12,000 *per cápita* (Selden y Daqing, 1994; Grossman y Krueger, 1995; Heil y Selden, 2001; Apergis y Ozturk, 2015).

pero que otros contaminantes como las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen puntos de inflexión más elevados, lo que hace que en los rangos actuales de PIB *per cápita* se observe una relación lineal (Poudel *et al.*, 2009; Esteve y Tamarit, 2012). Por ejemplo, Galindo *et al.* (2023) estiman, para ALC que el punto de inflexión para las emisiones de CO<sub>2</sub>e se ubica alrededor de USD \$11,000 y USD\$12,000 *per cápita*. En este trabajo, la especificación final de las ecuaciones de comportamiento se ha definido a partir de la evidencia econométrica.

Cabe precisar que las especificaciones econométricas utilizadas tienen limitaciones, ya que se ajustaron de acuerdo con la disponibilidad de datos y a los comportamientos atípicos derivados de la pandemia del Covid-19 y la recuperación económica posterior. La estructura del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> se sintetiza en el Diagrama 1.

Diagrama 1  
Estructura del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>



Fuente: Elaboración de los autores.

## II. Especificaciones econométricas del ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>

### A. Producto interno bruto

El Producto Interno Bruto (PIB) de largo plazo se obtiene con una función de producción que incluye capital, trabajo y la Productividad Total de los Factores (PTF) (De Gregorio, 2012):

$$(1) \quad Y_t = Af(K_t, Emp_t),$$

donde  $Y_t$  representa el PIB,  $K_t$  es el capital,  $Emp_t$  es el número de trabajadores empleados y  $A$  corresponde al progreso técnico neutral de Hicks (PTF) y  $t$  es el subíndice de tiempo.

La especificación del PIB de corto plazo se determina a partir de la siguiente expresión (Cermeño *et al.* 2018):

$$(2) \quad Y_t = \beta_1 \ln \left( \frac{I_t}{Y_t} \right)_t + \beta_3 DF_t + \beta_4 \ln SR_t + \beta_5 \ln POil_t + u_{kt},$$

donde  $I_t$  representa la inversión,  $DF_t$  es el déficit fiscal,  $SR_t$  es el tipo de cambio real,  $POil_t$  es el precio del petróleo y  $u_t$  es el término de error. Las letras minúsculas representan el logaritmo natural de las variables consideradas series.

El PIB *per cápita* (PIBPC<sub>t</sub>) es una variable exógena en el período histórico y para las simulaciones prospectivas se estima dividiendo al PIB por la población (POB), que se considera como exógena:

$$(3) \quad PIBPC_t = (PIB/POB)_t$$

## B. PIB y cambio climático

La Nueva Economía del Clima modela los efectos del cambio climático sobre las actividades económicas como (Dell *et al.*, 2014; Hsiang, 2016):

$$(4) \quad Z_t = F(CC_{it}, X_{it}),$$

donde  $Z_t$  es la variable económica considerada,  $CC_{it}$  corresponde a las condiciones climáticas y  $X_{it}$  representa un conjunto de variables de control. En este contexto general, la estimación de los costos del cambio climático se analiza dentro de la función de producción (Jones y Dietrich, 2013; Burns *et al.*, 2014):

$$(5) \quad Y_t = D(T_t)TFP_t F(K_t, Emp_t),$$

donde la  $TFP_t$  se define como:

$$(6) \quad TFP_t = Y_t^p - Y_t,$$

donde  $Y_t^p$  representa el valor simulado del PIB en la función de producción sin cambio climático (ecuación 2).

La función de producción puede definirse entonces en términos *per cápita* como (Söderbom *et al.*, 2014):

$$(7) \quad y_t = K_t^\alpha TFP_t^{1-\alpha},$$

La que puede expresarse como:

$$(8) \quad \frac{Y_t}{L_t} = \alpha \frac{K_t}{L_t} + (1 - \alpha)TFP_t + u_t.$$

Aplicando la transformación logarítmica y diferenciando se obtiene (Jones y Dietrich, 2013):

$$(9) \quad \frac{\Delta y_t}{y_t} = \alpha \frac{\Delta k_t}{k_t} + (1 - \alpha) \frac{\Delta TFP_t}{TFP_t},$$

donde la tasa de crecimiento de la productividad es exógena y, en la medida en que el capital por trabajador se mantenga constante, el producto por trabajador crecería en el largo plazo en función de la tasa de crecimiento de la productividad:

$$(10) \quad \frac{\Delta TFP_t}{TFP_t} = g.$$

En este contexto, la PTF puede considerarse, también, como una variable endógena (Söderbom *et al.*, 2014):

$$(11) \quad (1 - \alpha)A_t = \beta_0 + g_1 Trend + u_t,$$

y sustituyendo en la ecuación (9) se obtiene que:

$$(12) \quad \frac{Y_t}{L_t} = \alpha \frac{K_t}{L_t} + g_1 Trend + \beta_0 + u_t.$$

De este modo, el cambio climático tiene dos canales de transmisión sobre la función de producción. En primer lugar, el clima incide en el nivel de producto, donde la TFP tiene un crecimiento constante exógenamente determinado (Dell *et al.*, 2014). En segundo lugar, los *shocks* de temperatura afectan a la tasa de crecimiento de la TFP y, a través de este conducto, al producto, donde incluso la TFP puede considerarse endógena. Estos efectos del clima en la tasa de crecimiento del producto dominan a los efectos en el nivel de producto en el largo plazo (Dell *et al.*, 2014):

$$(13) \quad \bar{Y}_t = D(T_t)TFP_t F(K_t, L_t).$$

La evolución de la TFP puede modelarse como:

$$(14) \quad \log TFP_t = \log TFP_{t-1} + \Delta(T),$$

donde la función del daño del clima corresponde a  $\Delta(T)$ , por lo que el efecto de la temperatura sobre la tasa de crecimiento se puede modelar como:

$$(15) \quad \frac{\Delta TFP_{it}}{TFP_{it}} = g_i + \gamma T_{it},$$

donde  $g_i$  es la tasa de crecimiento del producto o del producto *per cápita* asociada al estado estacionario (Bond *et al.*, 2010).

Una especificación alternativa para estimar los impactos del cambio climático en la función de producción de tipo Harrod Domar implicaría que la tasa de crecimiento del PIB sería función de la razón de inversión a PIB y de las variables climáticas, lo que implica que el PIB se define con base en la siguiente identidad (Coutiño y Zandi, 2021):

$$(16) \quad Y_t = \frac{K_t}{k_t} = \frac{K_t}{\left(\frac{K}{Y}\right)_t} = Y_t,$$

donde  $k_t = (K/Y)_t$  es la razón capital- producto.

De este modo, tomando las tasas de crecimiento de la ecuación (16) y dividiendo entre  $Y_t$  se obtiene la ecuación de la forma reducida:

$$(17) \quad \frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \frac{\Delta K_t}{Y_t} \left(1/k_t\right).$$

De este modo, considerando que  $\Delta K_t = I_t$  y que  $(1/k_t)$  es un factor constante entonces:

$$(18) \quad \frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \vartheta \left(I_t/Y_t\right),$$

con  $\vartheta = 1/k$  e  $(I/Y)_t$  es la razón de la inversión respecto al PIB. De este modo, asumiendo que la inversión tiene efectos dinámicos durante varios periodos puede obtenerse, con base en la especificación de Koyk (Coutiño y Zandi, 2021):

$$(19) \quad \Delta y_t = \alpha + \beta \sum \tau^i \left(I/Y\right)_{t-i} + u_t.$$

La ecuación (19) normalmente se estima como:

$$(20) \quad \Delta y_t = \alpha + \beta \left(I/Y\right)_t + \tau \Delta y_{t-1} + u_t,$$

donde Coutiño y Zandi, (2021) estiman que  $\beta = 0.44$  y  $\tau = 0.49$ .

La ecuación (20) puede modificarse para incluir los efectos de la temperatura como:

$$(21) \quad \Delta y_t = \alpha + \beta \left(I/Y\right)_t + \tau \Delta y_{t-1} + \theta_1 T + \theta_2 Temp^2 u_t$$

La evidencia disponible agregada sobre los efectos del cambio climático en la economía indica que un aumento de 3°C de temperatura reduce en -2.04% (+-2.2) el PIB y un aumento de 6°C implica una pérdida de -8.06% (+-2.43) del PIB (OECD, 2015), un incremento de 4°C de temperatura implica una pérdida de entre 2% a 10% del producto al 2100, un incremento de 2°C implica 0.2% a 2.0% PIB (IPCC, 2014). Alestra *et al.* (2022) argumentan que en una función de producción puede obtenerse estimaciones de los costos del cambio climático con base en:



$$(22) \quad Y_t = 0.6Temp - 0.6Temp^2.$$

Asimismo, Burke *et al.* (2015) estiman costos del cambio climático de 23% del PIB y que para ALC son aún más importantes (véase, Apéndice).

### C. Demanda agregada

Con objeto de identificar potenciales consecuencias en el PIB de diversos *shocks* se consideró una especificación de corto plazo (Berg *et al.*, 2006, Cermeño *et al.*, 2018):

$$(23) \quad \Delta Y_t = \beta_1 \ln \left( \frac{I_t}{Y_t} \right) + \beta_2 SR_t + \beta_3 DF_t + \beta_4 POil_t + \beta_5 \Delta Y_{t-1} + u_t.$$

El consumo es una función del ingreso (propensión marginal a consumir) que incorpora el efecto de la tasa de inflación para incorporar efectos riqueza (efecto Pigou) e incertidumbre (Davidson, 1978; Deaton y Muellbauer, 1980a; Berg *et al.*, 2006).

$$(24) \quad C_t = \beta_1 Y_t + \beta_2 \Delta P_t + u_t$$

donde  $C_t$  es el consumo privado y  $\Delta P_t$  es la tasa de inflación.

La inversión privada corresponde a una función basada en el multiplicador Keynesiano y un ajuste de la tasa de interés aproximado por la tasa de inflación (hipótesis de Fisher) (Wallis, 1980):

$$(25) \quad I_t = \beta_3 Y_t + \beta_4 \Delta P_t + \beta_5 RUSA_t u_t.$$

donde  $I_t$  es la inversión privada<sup>1</sup> y  $RUSA_t$  es la tasa de interés externa, aproximada por la tasa de interés de Estados Unidos.

Las exportaciones y las importaciones se representan a partir de funciones de demanda convencionales (Deaton y Muellbauer, 1980a). La demanda de exportaciones es una función del PIB global excluyendo al PIB de ALC y del tipo de cambio real y la demanda de importaciones es una función del PIB de ALC y del tipo de cambio real (Carnot, 2005):

$$(26) \quad x_t = \beta_6 Y_{glo_t} + \beta_7 SR_t + \beta_8 POIL_t + u_t,$$

$$(27) \quad im_t = \beta_9 Y_{alc_t} + \beta_{10} SR_t + \beta_{11} POIL_t + u_t,$$

donde  $x_t$  es la transformación logarítmica de las exportaciones totales,  $im_t$  representa el logaritmo de las importaciones totales,  $Y_{glo_t}$  es el PIB global sin ALC,  $Y_{alc_t}$  es el PIB de ALC y  $POIL_t$  es el precio internacional del barril de petróleo.

### D. Energía

La demanda de energía, electricidad y gasolinas se modelan como funciones de demanda tradicionales (Deaton y Muellbauer, 1980a, 1980b):

$$(28) \quad en_t = \beta_{12} Y_t + \beta_{13} POil_t + u_t,$$

$$(29) \quad elec_t = \beta_{14} Y_t + \beta_{15} preelec_t + u_t,$$

$$(30) \quad gas_t = \beta_{16} Y_t + \beta_{17} pregas_t + u_t,$$

$$(31) \quad \%Fossilsuel_t = \beta_{18} Y_t + \beta_{19} Trend_t + u_t,$$

<sup>1</sup> La evidencia internacional sugiere que un aumento de 1% en la demanda lleva a un aumento de 2-2.5% de la inversión (Carnot *et al.*, 2005).

$$(32) \quad \%elecrenew_t = \beta_{20}Y_t + \beta_{21}Trend_t + u_t,$$

$$(33) \quad electkw_t = \beta_{22}Y_t + \beta_{23}Trend_t + u_t,$$

donde  $en_t$  es el consumo total de energía,  $elec_t$  es la demanda de electricidad,  $preelec_t$  es el precio de la electricidad,  $gas_t$  es el consumo de gasolina,  $pgras_t$  es el precio de la gasolina,  $\%Fossilfuel_t$  es el consumo de energía de fuente fósiles,  $\%elecrenew_t$  es el consumo de energías renovables como porcentaje del consumo total y  $electkw_t$  es la producción de electricidad a partir de fuentes renovables.

## E. Empleo y condiciones sociales

El empleo total depende del nivel de actividad y de la tasa de inflación que busca aproximar el aumento del salario y condiciones de incertidumbre (Hantzsche et al., 2018):

$$(34) \quad emp_t = \beta_{24}Y_t + \beta_{25}\Delta P_t + u_t.$$

El cambio en el porcentaje de personas por debajo de la línea de pobreza depende de los cambios en el ingreso *per cápita* y en la distribución del ingreso aproximado por el índice de Gini (hipótesis pro-pobre *-pro-poor growth-*) (Bourguignon, 2000):

$$(35) \quad \%pobreza1.9_t = \beta_{26}Ypc_t + \beta_{27}\Delta Gini_t + u_t,$$

$$(36) \quad \%pobreza3.5_t = \beta_{28}Ypc_t + \beta_{29}\Delta Gini_t + u_t,$$

$$(37) \quad morinfant_t = \beta_{30}Ypc_t + u_t,$$

donde  $\%pobreza1.9_t$  es el porcentaje de pobres por debajo de la línea de pobreza de 1.9 dólares por día,  $\%pobreza3.5_t$  es el porcentaje de pobres por debajo de la línea de pobreza de 3.5 dólares por día,  $morinfant_t$  es la tasa de mortalidad infantil y  $Gini_t$  es el índice de Gini.

## F. Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se especifican de acuerdo con el modelo STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression Population Affluence and Technology*) (Dietz y Rosa, 1994; York et al., 2003; Lin et al., 2009). Las ecuaciones estimadas son:

$$(38) \quad co2eT_t = \beta_{31}Y_t + \beta_{32}\Delta POil_t + u_t,$$

$$(39) \quad co2eEN_t = \beta_{33}Ypc_t + \beta_{34}Gini_t + \beta_{35}\left(\frac{en_t}{PIB_t}\right) + \beta_{36}POil_t + u_t,$$

$$(40) \quad co2eELEC_t = \beta_{37}Y_t + \beta_{38}Gini_t + \beta_{39}\left(\frac{elec_t}{PIB_t}\right) + u_t,$$

$$(41) \quad co2eTRANS_t = \beta_{40} + \beta_{41}POil_t + \beta_{42}\left(\frac{en_t}{PIB_t}\right) + u_t,$$

$$(42) \quad co2eAGRI_t = \beta_{43}Y_t + \beta_{44}Gini_t + u_t,$$

$$(43) \quad co2eIND_t = \beta_{45}Y_t + \beta_{46}\Delta Gini_t + u_t,$$

$$(44) \quad co2eRESID_t = \beta_{47}Ypc_t + \beta_{48}Gini_t + u_t,$$

$$(45) \quad co_2eBOS_t = \text{exógena},$$

donde  $co2eT_t$  son las emisiones totales,  $co2eEN_t$  son las emisiones totales de energía,  $co2eELEC_t$  son las emisiones provenientes de la electricidad,  $co2eTRANS_t$  son las emisiones de transporte,

$co_2eAGRI_t$  son las emisiones del sector agrícola,  $co_2eIND_t$  son las emisiones del sector industrial,  $co_2eRESID_t$  son las emisiones de residuos. Las elasticidades ecológicas de los impactos ambientales a sus determinantes se identifican a través de los coeficientes de estas ecuaciones.

La identidad del IPAT (Ekins, 2000; Labandeira *et al.*, 2007) se utiliza para análisis de consistencia de los escenarios de los modelos STIRPAT (Nakicenovic y Group, 2000). Por ejemplo, la especificación para la energía:

$$(46) \quad \Delta CO2e_t = \Delta \left( \frac{CO2e_t}{PIB_t} \right) + \Delta PIB_t,$$

$$(47) \quad \Delta CO2ee_t = \Delta POB_t + \Delta \left( \frac{PIB_t}{POB_t} \right) + \Delta \left( \frac{CE_t}{PIB_t} \right) + \Delta \left( \frac{CO_t}{CE_t} \right),$$

$$(48) \quad \Delta CO2ee_t = \Delta PIB_t + \Delta \left( \frac{CE_t}{PIB_t} \right) + \Delta \left( \frac{CO_t}{CE_t} \right),$$

donde  $COee_{2t}$  representa las emisiones de  $CO_{2t}$  equivalentes provenientes del consumo de energía,  $POB_t$  es la población,  $PIB_t$  es el Producto Interno Bruto y  $CE_t$  es el consumo de Energía. La razón de  $PIB_t$  sobre  $POB_t$  representa el PIB per cápita. Estas ecuaciones tienen, también, su representación en niveles.

## G. Medio ambiente

Las variables asociadas al medio ambiente corresponden a:

$$(49) \quad aland_t = \beta_{46} Ypc_t + \beta_{47} aland_{t-1} + u_t,$$

$$(50) \quad forestland_t = \beta_{48} Ypc_t + u_t.$$

## H. Infraestructura

La demanda de infraestructura se estima tomando como referencia los requerimientos de infraestructura asociados a un determinado nivel de ingreso *per cápita* ajustado por la evolución de la estructura económica o precios (Perrotti y Sánchez, 2011):

$$(51) \quad infratot_t = \beta_{49} Ypc_t + u_t,$$

donde  $infratot_t$  representa el gasto total en infraestructura.

## I. Precios

Los precios se modelan de acuerdo con presiones de demanda y de costos en el contexto de la curva de Phillips del nuevo Keynesianismo y una curva de salarios (Bårdsen *et al.*, 2005).

$$(52) \quad P_t = \beta_{50} \pi_t + \beta_{51} S_t + \beta_{52} POil_t + u_t,$$

donde  $\pi_t$  es la productividad del trabajo definida como PIB/Empleo y  $S_t$  es el tipo de cambio nominal. Esta ecuación ha sido estimada a partir de modelos de datos panel, sólo como referencia para la construcción de escenarios.

### III. Base de datos

La base de datos consiste en información anual para el periodo 1990-2021. Los estadísticos descriptivos básicos de la base de datos se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1**  
Estadísticos descriptivos de las variables incluidas en el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>

| Variable                 | N  | Promedio           | Desviación estándar | Mínimo             | Máximo             |
|--------------------------|----|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Yglo <sup>a</sup>        | 62 | 37,783,074,439,166 | 20,784,026,486,645  | 10,159,703,089,815 | 81,081,442,590,742 |
| Y <sup>a</sup>           | 62 | 2,941,187,878,821  | 1,533,419,349,046   | 720,820,893,975    | 5,592,198,540,868  |
| C <sup>a</sup>           | 62 | 2,338,841,053,502  | 1,254,453,747,638   | 541,817,392,495    | 4,607,630,928,950  |
| I <sup>a</sup>           | 52 | 633,668,314,661    | 259,688,792,744     | 251,003,570,210    | 1,105,850,673,679  |
| Im <sup>a</sup>          | 62 | 506,136,197,298    | 445,286,471,125     | 59,853,242,782     | 1,420,796,181,441  |
| X <sup>a</sup>           | 62 | 490,381,173,613    | 422,969,797,909     | 45,010,424,928     | 1,339,923,347,211  |
| Emp <sup>e</sup>         | 31 | 228,098,847        | 37,975,355          | 163,659,679        | 282,579,099        |
| POB <sup>e</sup>         | 62 | 442,682,851        | 134,943,452         | 219,828,794        | 658,089,208        |
| Ypc <sup>a</sup>         | 62 | 6,177.0            | 1,605.2             | 3,279.0            | 8,670.8            |
| SR <sup>b</sup>          | 30 | 108.3              | 9.8                 | 94.3               | 128.5              |
| P <sup>d</sup>           | 55 | 7.98               | 5.52                | 1.38               | 22.95              |
| rUSA <sup>d</sup>        | 61 | 3.64               | 2.29                | -1.28              | 8.59               |
| DF <sup>f</sup>          | 31 | -0.58              | 2.22                | -6.87              | 3.89               |
| Gini                     | 21 | 0.49               | 0.03                | 0.46               | 0.54               |
| %pobreza1.9 <sup>g</sup> | 41 | 10.5               | 4.5                 | 4.1                | 16.8               |
| %pobreza3.5 <sup>g</sup> | 41 | 21.8               | 7.8                 | 10.4               | 32.1               |
| morinfant                | 62 | 66.3               | 44.6                | 16.2               | 159.4              |

| Variable                 | N  | Promedio       | Desviación estándar | Mínimo        | Máximo          |
|--------------------------|----|----------------|---------------------|---------------|-----------------|
| eleckw <sup>g</sup>      | 45 | 25,085,644,444 | 26,905,769,904      | 2,074,000,000 | 121,451,000,000 |
| elec <sup>h</sup>        | 44 | 1,307.1        | 486.3               | 502.9         | 2,157.9         |
| en <sup>i</sup>          | 44 | 1,108.5        | 144.7               | 823.2         | 1,397.0         |
| gas <sup>f</sup>         | 45 | 36.2           | 4.1                 | 29.1          | 45.2            |
| %Fossilfuel <sup>f</sup> | 45 | 72.7           | 2.8                 | 68.0          | 87.9            |
| %elecrenew <sup>f</sup>  | 26 | 29.1           | 1.4                 | 27.4          | 32.4            |
| POij <sup>a</sup>        | 36 | 44.7           | 28.1                | 14.4          | 99.7            |
| preelec-ind <sup>b</sup> | 50 | 236.8          | 114.3               | 74.6          | 481.3           |
| preelec <sup>a</sup>     | 50 | 0.10           | 0.04                | 0.03          | 0.19            |
| pregas <sup>a</sup>      | 19 | 0.87           | 0.26                | 0.49          | 1.28            |
| aland <sup>f</sup>       | 60 | 32.4           | 1.7                 | 28.3          | 33.8            |
| forestland <sup>f</sup>  | 31 | 49.5           | 2.2                 | 46.5          | 53.3            |

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial, CEPAL, OLADE e IEA, 1960-2021.

<sup>a</sup> US\$ a precios constantes de 2015.

<sup>e</sup> Número de personas.

<sup>b</sup> Índice (porcentaje).

<sup>d</sup> Porcentaje.

<sup>f</sup> Porcentaje del total.

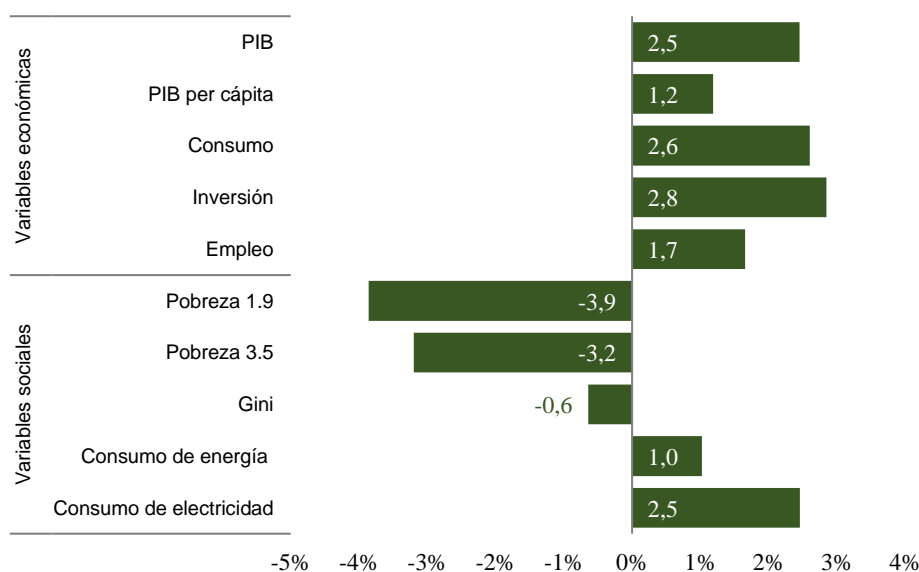
<sup>g</sup> kWh.

<sup>h</sup> kWh per cápita.

<sup>i</sup> kg de equivalente de petróleo per cápita.

En el Gráfico 1 se presentan las principales magnitudes condicionan el estilo de desarrollo en ALC. Esta información muestra la estrecha relación entre la evolución del ingreso y del consumo y el empleo, los efectos limitados sobre la pobreza y la estrecha asociación positiva con el consumo de electricidad y energía.

**Gráfico 1**  
Tasas de crecimiento de algunas de las variables básicas del modelo  
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial, 1990-2021.

## IV. La evidencia econométrica

Las estimaciones del modelo M<sup>3</sup>C<sup>3</sup> por bloques se sintetizan en los Cuadros del 1 al 6 y Cuadro 7 para datos panel. Las estimaciones buscan identificar relaciones de largo plazo asociadas con la presencia de cointegración entre las variables.

El conjunto de resultados obtenidos muestra que el producto es una función positiva del capital, del empleo y de la TFP y que la temperatura tiene efectos negativos sobre el producto y sobre la productividad total de los factores, aunque persiste una importante incertidumbre sobre la presencia de efectos no lineales. Los impactos son inferiores a los expuestos en la literatura, pero, en todo caso, ofrecen un rango inferior de impactos y confirman la presencia de impactos negativos.

En el corto plazo, el producto muestra ajustes ante variaciones en la inversión, en el déficit fiscal, en el tipo de cambio real y en el precio del petróleo. Esto último confirma la presencia *shocks* externos en la evolución del producto en ALC.

Las funciones consumo de inversión estimadas dependen de la evolución del PIB y de un ajuste a los precios, mientras que las exportaciones y las importaciones ajustan a la evolución respectiva del PIB, del tipo de cambio real y, destaca, los efectos del precio del petróleo.

El consumo de los diferentes tipos de energía está estrechamente relacionado con la trayectoria del PIB lo que se refleja en altas elasticidades ingreso de la demanda de los diferentes tipos de energía. Las elasticidades precio de las distintas demandas de energía son inelásticas en un rango entre -0.5 y 0 lo que refleja una limitada sensibilidad a los precios de los consumidores. Ello indica que en un escenario de crecimiento económico continuo aumentos marginales de precios son insuficientes para contener el aumento del consumo de energía y por tanto son insuficientes para alcanzar una economía carbono neutral en 2050.

Las emisiones de gases de efecto invernadero son sensibles a la evolución del PIB per cápita, la intensidad de los diversos tipos de energía y muestran, también, una baja elasticidad con respecto al precio del petróleo. Ello indica que un precio al carbono es importante pero insuficiente para construir una economía carbono neutral. Por otra parte, las emisiones de gases de efecto invernadero

muestran una asociación con la distribución del ingreso. Esto es, una mayor concentración del ingreso se traduce en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este conjunto de resultados sugiere que es factible construir una estrategia de descarbonización profunda a través de asociar los procesos de mitigación con una mejora en la distribución del ingreso.

La evolución del empleo se asocia a la trayectoria del PIB mientras que la reducción de la pobreza está asociado a la tasa de crecimiento del PIB *per cápita* y a la mejora en el coeficiente de Gini. Así, la reducción en la tasa de mortalidad infantil se asocia a una mejor distribución del ingreso, por lo que la progresividad distributiva contribuye a reducir la pobreza y a disminuir la mortalidad infantil.

La evidencia sobre las variables ambientales sugiere un comportamiento no lineal en el área cultivada y la persistencia del desafío de la deforestación.

El gasto en infraestructura se relaciona positivamente con la evolución del PIB *per cápita*. De este modo, la transición a una economía baja en carbono estará asociado a un incremento del gasto en infraestructura.

Existe evidencia de que los precios están correlacionados con las presiones por costos y por tanto un aumento del precio del petróleo incrementa las tasas de inflación en ALC y, a través de este canal, incide en el comportamiento de la demanda agregada.

**Cuadro 2**  
**Bloque de Producto y cambio climático**

| Variable                              | Ecuación  | Comentarios |
|---------------------------------------|---|-------------|
| TC PIB per cápita                     | $\Delta Ypc_t = -105,60 - 0,22\Delta Ypc_{t-1} + 8,56T - 0,17T_t^2 + 0,00007Pre$                | Temperatura |
| TC PIB                                | $\Delta Y_t = -104,13 - 0,21\Delta Y_{t-1} + 8,46T_t - 0,17T_t^2 + 0,000063Pre$                 | Temperatura |
| Función de producción: PIB            | $Y_t = 8,95 + 0,25K_t + 0,67Emp_t + 0,006Trend$<br>$ADF(1) = -5,50$ ( $p$ -value 0,000)         | Tradicional |
| Función de producción con temperatura | $Y_t = 9,82 + 0,25K_t + 0,65Emp_t + 0,007Trend - 0,02T$<br>$ADF(1) = -4,72$ ( $p$ -value 0,000) | Temperatura |
| Productividad total de los factores   | $TFP_t = 0,0002 + 0,068TFP_{t-1} - 0,017\Delta T$   | Temperatura |
| TC del PIB (Harrod Domar)             | $\Delta Y_t = 1,81 - 0,18\Delta Y_{t-1} + 0,12\left(\log \frac{I}{Y}\right)_t - 0,06T$          | Temperatura |
| TC del PIB (Harrod Domar)             | $Y_t = -108,8 - 0,24\Delta Y_{t-1} + 0,11\left(\log \frac{I}{Y}\right) + 8,88T - 0,18T_t^2$     | No lineal   |

Fuente: Elaboración propia. El capital se construyó con la fórmula de inventarios perpetuos y una tasa de depreciación de 2% anual.

**Cuadro 3**  
**Bloque de Producto y demanda agregada**

| Variable                     | Ecuación  | Comentarios   |
|------------------------------|---|---|
| Variación del PIB            | $\Delta Y_t = 0,01DF_t + 0,12SR_t - 0,02POil_t + 0,24\left(\frac{I}{Y}\right)_t - 0,44\Delta Y_{t-1}$ | Ajustes de demanda.<br>Precios del petróleo.                          |
| Consumo LP (cointegración)   | $C_t = 0,99Y_t - 0,1\Delta P_t - 0,003rUSA_t - 0,03Q2004$<br>$ADF(1) = -2,30$ ( $p$ -value 0,022)     | Propensión marginal a consumir y ajuste precios.                      |
| Consumo CP                   | $\Delta C_t = 0,003 + 0,89\Delta Y_t - 0,09ECMC_{t-1}$  | $JB = 1,14$ ; $LM: p$ -value = 0,951<br>$Het: ARCH: p$ -value = 0,949 |
| Inversión LP (cointegración) | $I_t = 0,94Y_t - 0,03\Delta P_t - 0,01rUSA_t$<br>$ADF(1) = -2,34$ ( $p$ -value 0,020)                 | Multiplicador y precios.<br>Tasa de interés externa.                  |
| Inversión CP                 | $\Delta I_t = 1,73\Delta Y_t - 0,14ECMI_{t-1}$  | $JB = 1,23$ ; $LM: p$ -value = 0,078<br>$Het: ARCH: p$ -value = 0,988 |
| Exportaciones                | $x_t = -21,99 + 1,53Yglo_t + 0,10SR_t + 0,07POil_t$<br>$ADF(1) = -2,01$ ( $p$ -value 0,043)           | Precios del petróleo  |
| Importaciones                | $im_t = -30,89 + 2,00 * Y_t - 0,11SR_t + 0,14POil_t$<br>$ADF(1) = -2,84$ ( $p$ -value 0,006)          | Precios del petróleo  |

Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 4**  
**Bloque de Consumo energía**

| Variable  | Ecuación   | Comentarios                 |
|---|--|-----------------------------|
| Consumo de energía                                | $en_t = -9,00 + 0,55Y_t - 0,005\Delta POil_t - 0,004Trend$<br>$ADF(1) = -2,95$ ( <i>p</i> - value 0,005) | Baja sensibilidad a precios |
| Consumo electricidad                              | $elec_t = -23,10 + 1,04Y_t - 0,15preelec_t$<br>$ADF(1) = -1,72$ ( <i>p</i> - value 0,079)                | Baja sensibilidad a precios |
| Consumo de gasolinas                              | $gas_t = -18,46 + 0,75Y_t - 0,21pregas$<br>$ADF(1) = -1,86$ ( <i>p</i> - value 0,061)                    | Baja sensibilidad a precios |
| Consumo de energía con fuentes fósiles            | $\%Fossilfuel_t = 0,51Y_t - 0,08POil_t$<br>$ADF(1) = -2,73$ ( <i>p</i> - value 0,008)                    | Baja sensibilidad a precios |
| Consumo de energía renovable                      | $\%elecrenew_t = -1,28 + 0,63Y_t - 0,01Trend$<br>$ADF(1) = -2,74$ ( <i>p</i> - value 0,008)              | Caída                       |
| Producción de electricidad con fuentes renovables | $eleckw_t = 0,81Y_t + 0,05Trend$<br>$ADF(1) = -1,58$ ( <i>p</i> - value 0,104)                           | Tendencia                   |

Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 5**  
**Bloque de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

| Variable                     | Ecuación   | Comentarios                 |
|------------------------------|--|-----------------------------|
| Emisiones totales            | $CO2eT_t = 0,55Y_t + 1,33gini_t$<br>$ADF(1) = -0,76$ ( <i>p</i> - value 0,377)   | Baja sensibilidad a precios |
| Emisiones totales de energía | $CO2eEN_t = 7,21 + 1,84Ypc_t + 0,57Gini_t + 1,12\left(\frac{en_t}{Y_t}\right) - 0,5POil_t$<br>$ADF(1) = -2,54$ ( <i>p</i> - value 0,012) | Baja sensibilidad a precios |
| Emisiones de electricidad    | $CO2eELEC_t = 3,00 + 1,79Ypc_t + 1,09Gini_t + 0,77\left(\frac{elec_t}{Y_t}\right)$<br>$ADF(1) = -2,03$ ( <i>p</i> - value 0,042)         | Importancia del Gini        |
| Emisiones de transporte      | $CO2eTRANS_t = -6,04 + 1,96Y_t - 0,02POil_t + 0,37\left(\frac{en_t}{Y_t}\right)$<br>$ADF(1) = -2,73$ ( <i>p</i> - value 0,008)           | Precio petróleo.            |
| Emisiones industria          | $CO2eIND_t = -37 + 1,43Y_t - 0,002poil_t$<br>$ADF(1) = -2,01$ ( <i>p</i> - value 0,045)  | Importancia del Gini.       |
| Emisiones agricultura        | $CO2eAGRI_t = -13,38 + 0,72y_t + 1,29Gini_t$<br>$ADF(1) = -2,28$ ( <i>p</i> - value 0,025)   | Importancia del Gini        |
| Emisiones residuos           | $CO2eRESID_t = 0,58Ypc_t + 0,57Gini_t + 0,02Trend$<br>$ADF(1) = -3,55$ ( <i>p</i> - value 0,001)   | Importancia del Gini        |

Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 6**  
**Bloque de condiciones sociales**

| Variable                    | Ecuación  | Comentarios                               |
|-----------------------------|---|---|
| Empleo                      | $Emp_t = -0,26 + 0,67Y_t - 0,01\Delta P_t$<br>$ADF(1) = -1,72$ ( <i>p</i> - value 0,080)            | Consistente con la función de producción. |
| Pobreza 1,9                 | $\Delta\%pobreza1,9 = -0,03 - 0,76\Delta Ypc_t + 2,35\Delta Gini_t$                                 | Impacto bajo Ypc y efecto alto Gini       |
| Pobreza 3,5                 | $\Delta\%pobreza3,5 = -0,03 - 0,56\Delta Ypc_t + 1,63\Delta Gini_t$                                 | Impacto bajo Ypc y efecto alto Gini       |
| Tasa de mortalidad infantil | $morinfant_t = 20,92 - 1,99Ypc_t - 4,57\Delta Gini_t$<br>$ADF(1) = -3,36$ ( <i>p</i> - value 0,002) | Impacto Gini                              |
| Gasto en infraestructura    | $infracot_t = -10,59 + 2,39Ypc_t$<br>$ADF(1) = -0,57$ ( <i>p</i> - value 0,825)                     |   |

Fuente: Elaboración de los autores.



**Cuadro 7**  
**Bloque de Medio ambiente**

| Variable       | Ecuación   | Comentarios                                 |
|----------------|--|---|
| Área agrícola  | $aland_t = 0,26 - 0,008Ypc_t + 0,94aland_{t-1} + 0,000074$<br>$ADF(1) = -3,56$ ( <i>p - value</i> 0,000) | Posible efecto marginal de Curva de Kuznetz |
| Área selvática | $forestland_t = 6,57 - 0,30Ypc_t + 0,03Q2020$<br>$ADF(1) = -2,56$ ( <i>p - value</i> 0,012)              | Área pendiente                              |

Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 8**  
**Ecuación de precios (indicativa)**

| Variable                        | Ecuación   | Comentarios                                     |
|---------------------------------|--|---|
| Índice de precios al consumidor | $CPI_t = 0,24\pi_t + 0,51S_t + 0,19POil_t + 0,02Trend$ | Ajustes de productividad. Precios del petróleo. |

Fuente: Elaboración de los autores.

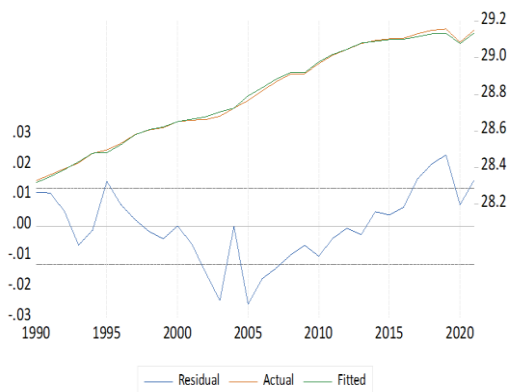
El ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup> reproduce razonablemente bien la trayectoria histórica de largo plazo de las variables endógenas (Gráfico 1).

**Gráfico 2**  
**Valores reales y simulados por el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>**  
*(En decimales)*

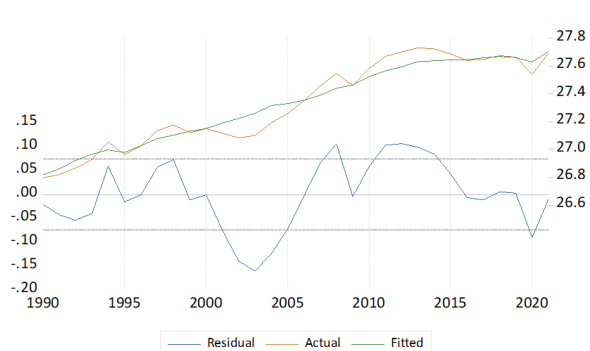
A. Crecimiento del PIB



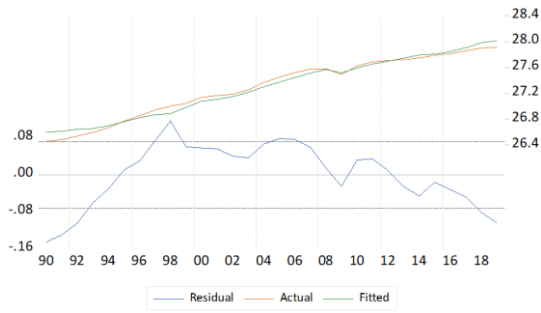
B. Consumo



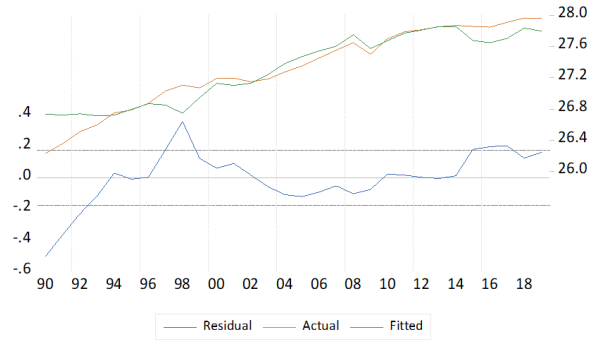
C. Inversión



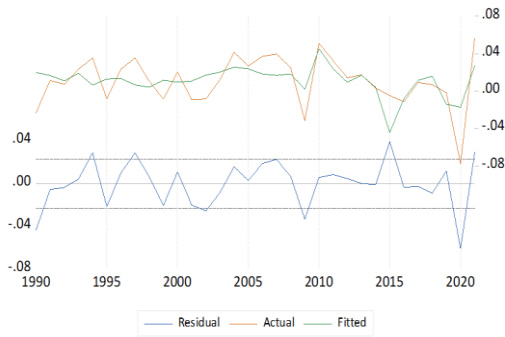
D. Exportaciones



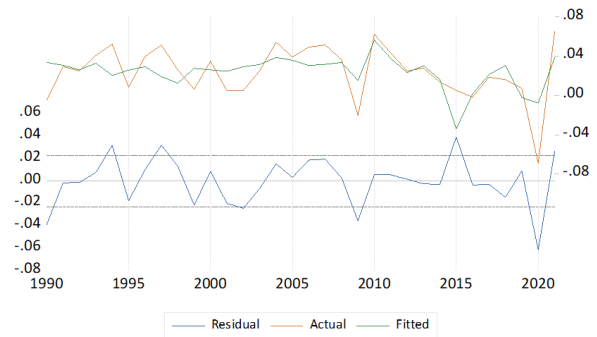
E. Importaciones



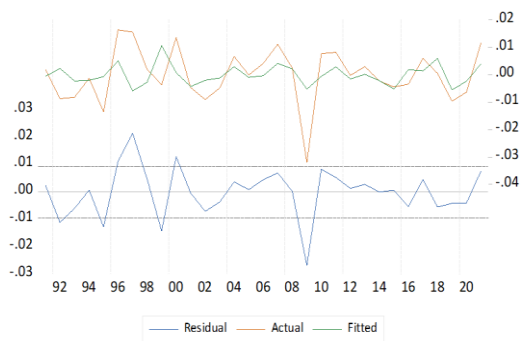
F. Tasa de crecimiento del PIB per cápita y clima



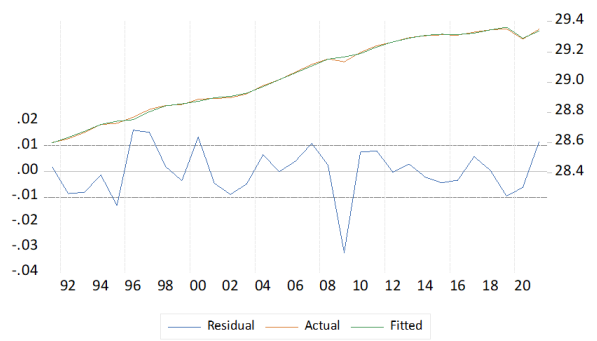
G. Tasa de crecimiento del PIB y clima



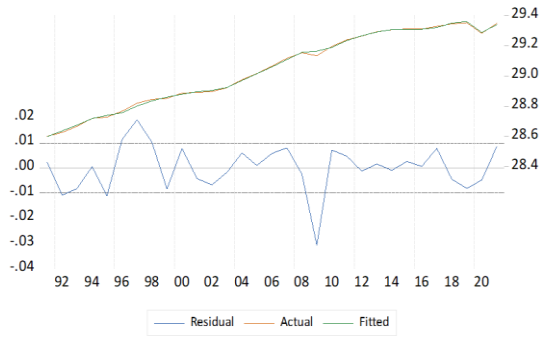
H. TFP y temperatura



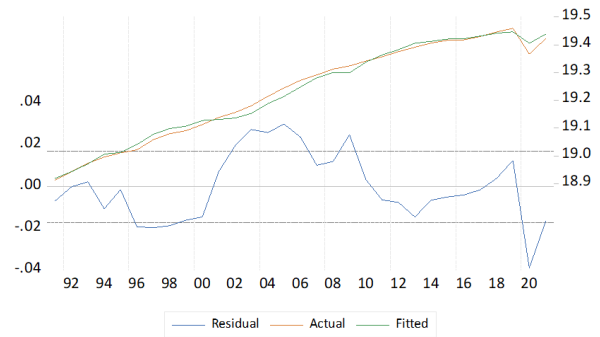
I. PIB: función de producción



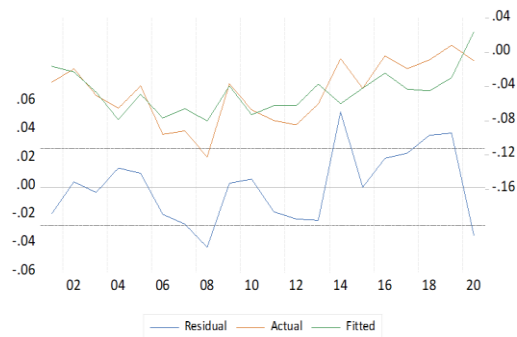
J. PIB con función de producción y temperatura



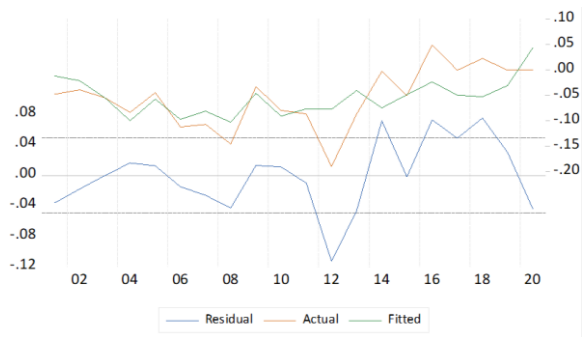
K. Empleo



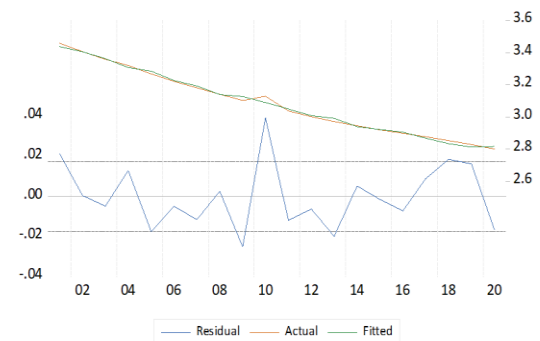
L. Pobreza 1.9



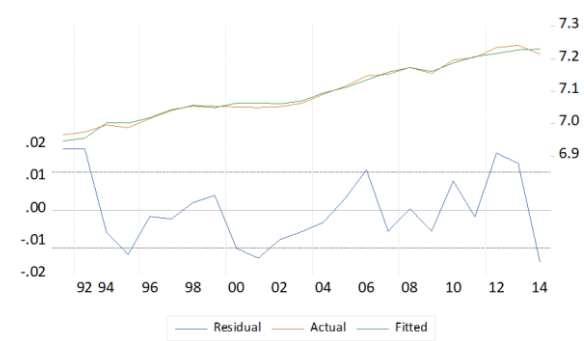
M. Pobreza 3.5



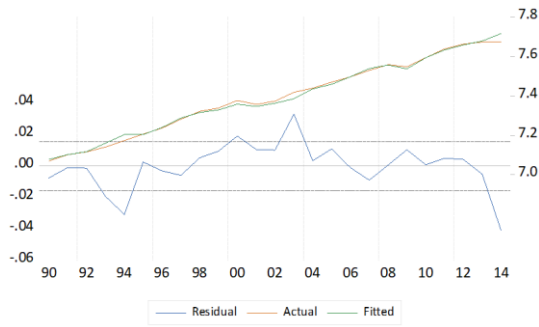
N. Tasa de mortalidad infantil



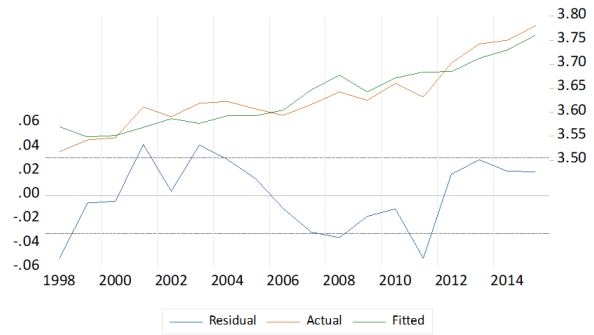
O. Energía



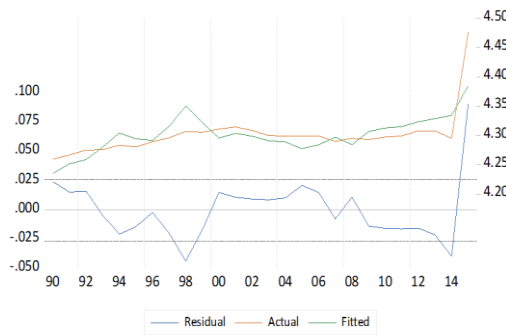
P. Consumo de electricidad



Q. Gasolinas



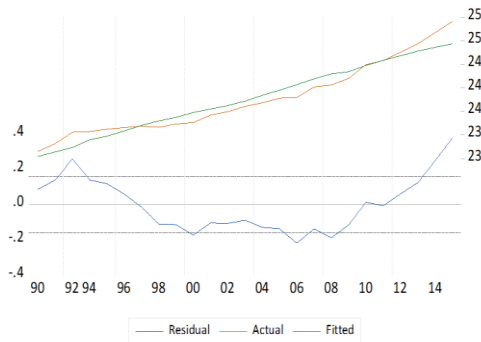
R. Fossil fuel



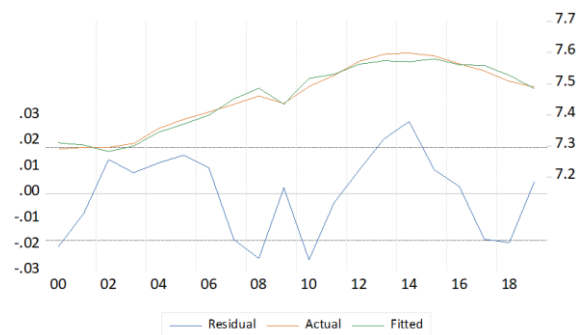
S. Elecremew



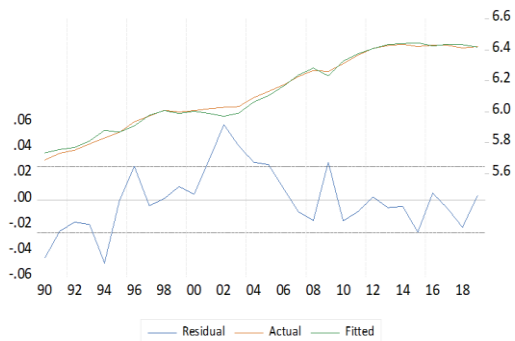
T. EleckWh



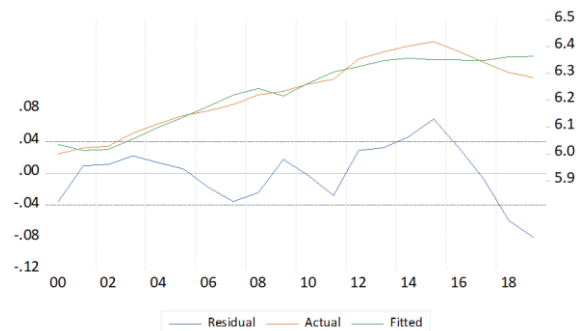
U. CO2e Energía

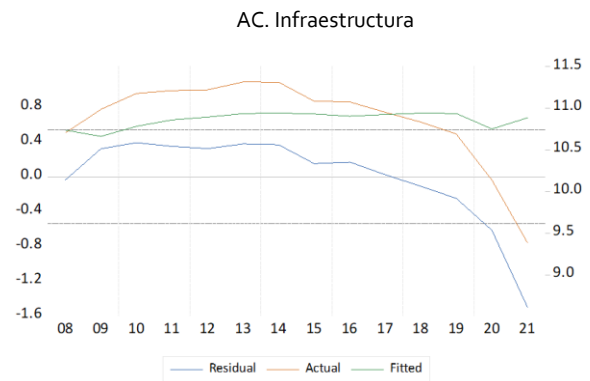
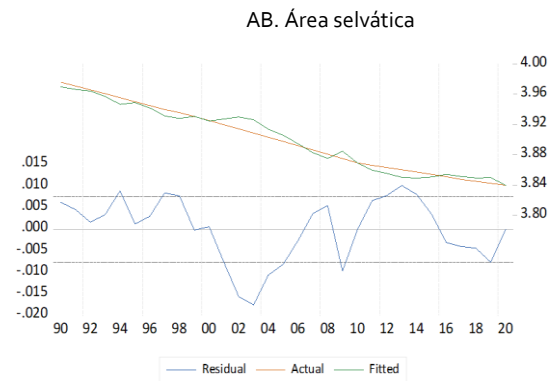
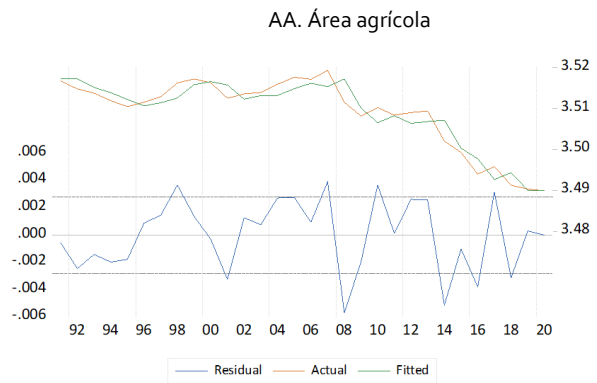
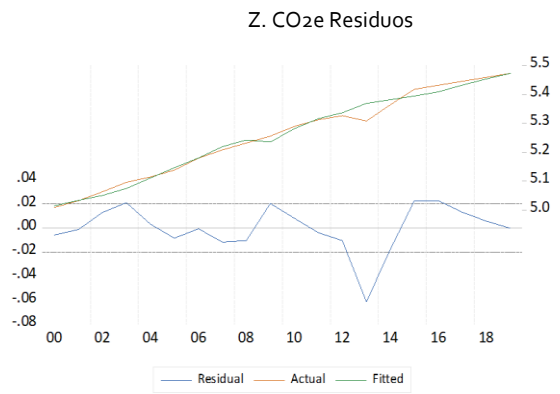
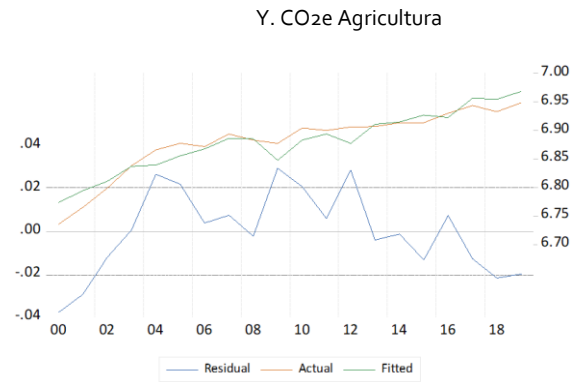
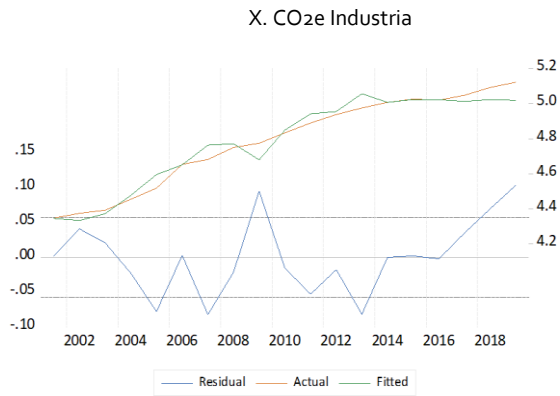


V. CO2e Transporte



W. CO2e Electricidad





Fuente: Elaboración de los autores.

## V. Escenarios prospectivos

Los escenarios construidos al 2030 y al 2050 para ilustrar el uso del modelo incluyen:

- Escenario I: Escenario inercial (Business As Usual –BAU-) que representa una extrapolación de las tendencias históricas.
- Escenario II: Escenario de efectos del cambio climático que incluye el impacto del cambio climático en el contexto del escenario inercial.
- Escenario III: Escenario de precio al carbono que incluye un precio del carbono.
- Escenario IV: Escenario de transición climática justa que incluye un precio al carbono y cambio en la distribución del ingreso.
- Escenario V: Escenario de riesgos de transición climática que presenta los esfuerzos de mitigación con base en el moldeo IPAT.

Estos escenarios son sólo ilustrativos y no representan pronósticos. Las gráficas de todos los escenarios se incluyen en el Apéndice.

### A. Escenario I: Escenario inercial (Business As Usual -BAU-)

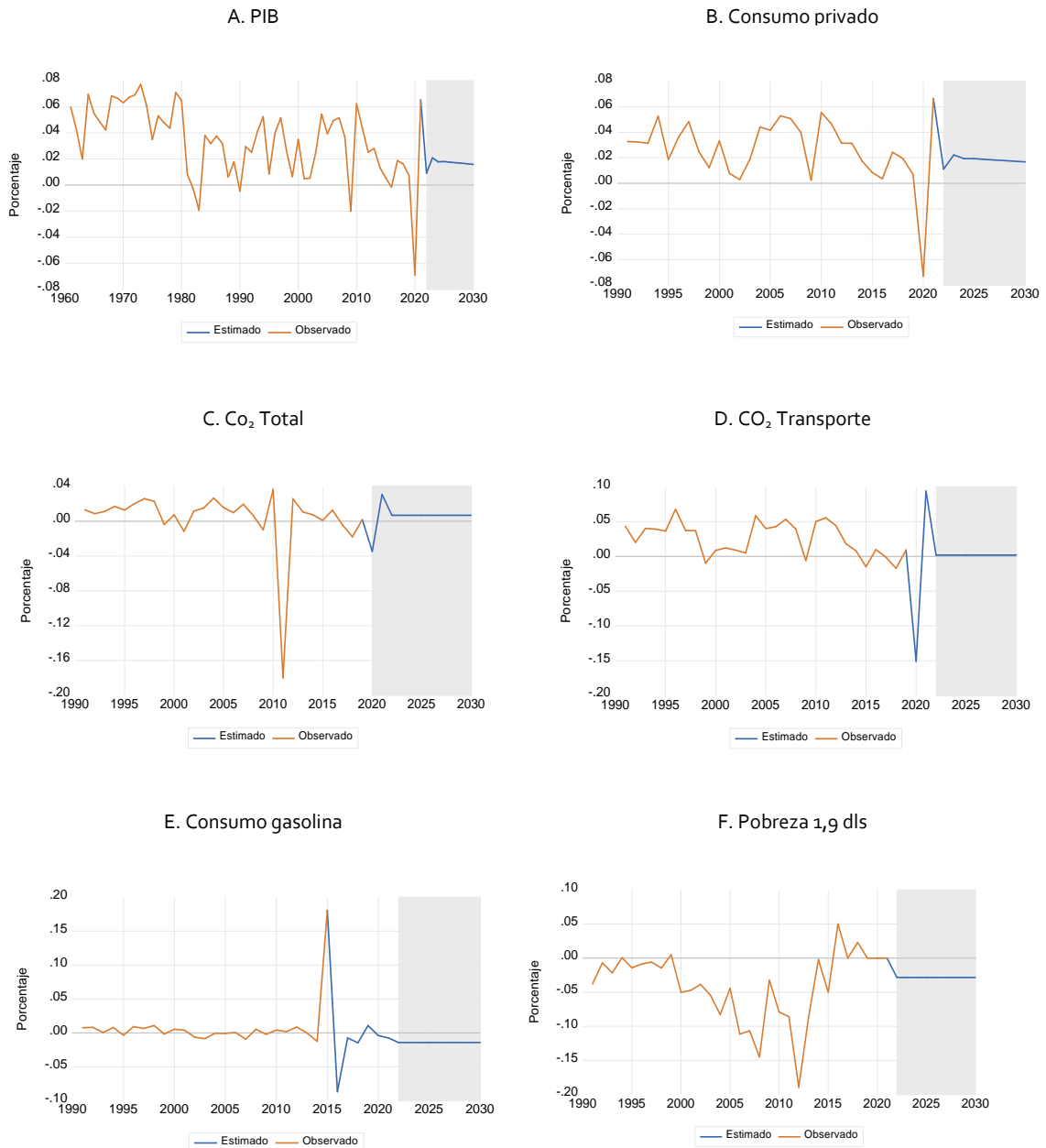
El escenario inercial (BAU) ilustra que la trayectoria inercial del actual estilo de desarrollo es inconsistente con un desarrollo sustentable. En efecto, el actual etilo de desarrollo está sujeto a la crítica de la paradoja del desarrollo. Esto es, el actual desarrollo en América Latina y el Caribe requiere un crecimiento del PIB, que se asocia a un aumento del consumo y del empleo y una reducción de la pobreza. Sin embargo, este crecimiento se asocia con un aumento del consumo de gasolina y de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen a generar una compleja matriz de externalidades negativas y, además, este crecimiento económico es insuficiente para atender los desafíos de la pobreza o la mortalidad infantil.

Los supuestos de este escenario BAU son:

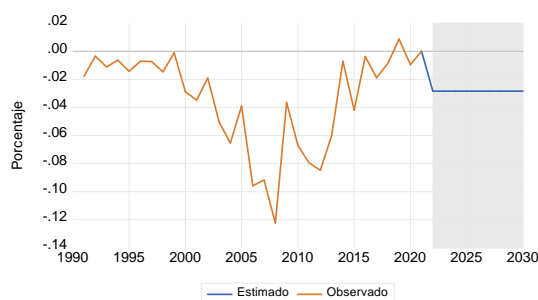
- Tasas de crecimiento promedio anuales históricas del conjunto de las variables.
- No se aplica un precio al carbono.

Los principales resultados de la simulación se sintetizan en el Gráfico 2 y Cuadro 8.

**Gráfico 3**  
**Escenario inercial (BAU)**



G. Pobreza 3,5 dls



Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 9**  
**Escenarios BAU**

| Variable                     | Período   |           |
|------------------------------|-----------|-----------|
|                              | 2022-2025 | 2026-2030 |
| PIB                          | 2,62      | 1,67      |
| Consumo privado              | 2,77      | 1,78      |
| CO <sub>2</sub> e            | 1,16      | 0,68      |
| CO <sub>2</sub> electricidad | 2,63      | 1,09      |
| CO <sub>2</sub> transporte   | 2,03      | 0,19      |
| Pobreza 1,9 dls              | -2,28     | -2,85     |
| Pobreza 3,5 dls              | -2,28     | -2,85     |
| Consumo de gasolina          | -1,29     | -1,42     |
| GINI                         | 0,463     | 0,461     |

Fuente: Elaboración de los autores.

## B. Escenario II: Escenario de efectos del cambio climático

El escenario de efectos del cambio climático muestra que los impactos del cambio climático son significativos y son un problema de desarrollo. En efecto, los efectos del cambio climático en la tasa de crecimiento del PIB pueden reducir el ritmo de crecimiento de manera significativa. Por ejemplo, en el escenario simulado puede presentarse una pérdida de 50% de la tasa de crecimiento del PIB 2%.

En este escenario se mantiene un ritmo de crecimiento que ralentiza el aumento del consumo y del empleo y la reducción de la pobreza intensificando los problemas sociales y se mantiene la generación de diversas externalidades negativas asociadas al consumo de gasolina y las emisiones de GEI aunque a un ritmo menor. Ello se debe a que el menor dinamismo económico se traduce, como consecuencia de las elevadas elasticidades ingreso de la demanda de energía, electricidad y transporte, en menores emisiones de GEI.



Los supuestos de este escenario BAU son:

- Escenarios climáticos (Solomon et al. 2007, Dell, et al., 2014, IPCC, 2013):
- Aumento entre 0.8°C y 1°C durante el siglo pasado
- Aumento de la temperatura media global entre 1.5°C y 3.1°C con escenarios extremos entre 4°C y 6°C para este siglo.
- Tasas de crecimiento promedio anuales históricas del conjunto de las variables.
- Efectos negativos del cambio climático sobre el nivel del PIB y sobre las tasas de crecimiento promedio anual del PIB.

El escenario de cambio climático considera dos **posibles casos extremos** de costos económicos al 2030:

Efectos del cambio climático en el nivel del PIB:

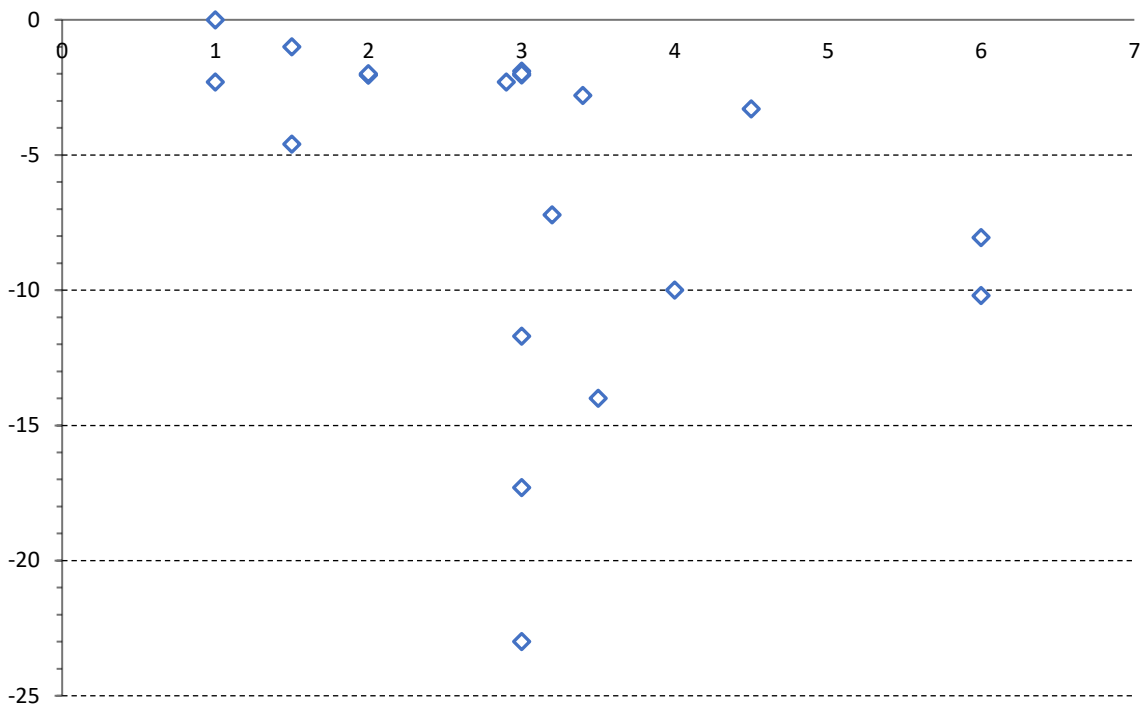
- Aumento de temperatura de 1°C implica una reducción del 5% del PIB.

Efectos del PIB en la tasa de crecimiento del PIB:

- Aumento de 1°C implica una reducción de entre 1% y 2% de la tasa de crecimiento promedio anual del PIB.

La información para la construcción de estos escenarios se sintetiza en el Gráfico 3, Cuadro 9 y Cuadro 10.

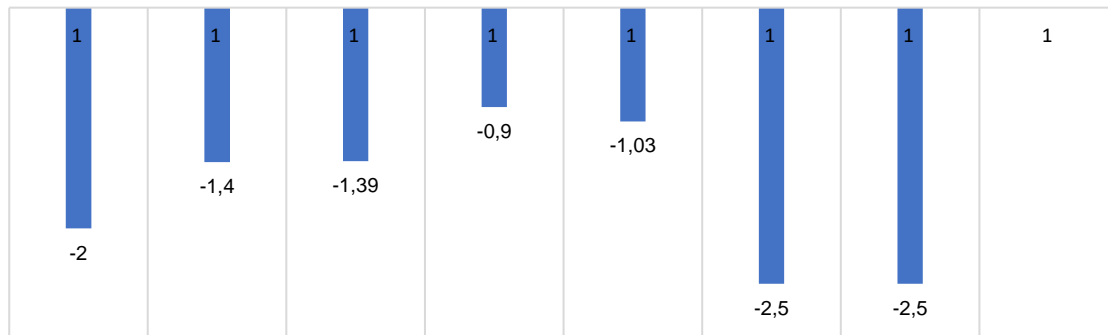
**Gráfico 4**  
**Temperatura y costos económicos del cambio climático en el nivel del PIB: revisión de la literatura**



Fuente: Elaboración de los autores.

**Gráfico 5**  
**Temperatura y costos económicos del cambio climático en la tasa de crecimiento del PIB/PIB per cápita: revisión de la literatura**

**CAIDA EN LA TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL**



Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 10**  
**Efectos del cambio climático sobre el nivel del PIB**

| Autor  | Aumento de temperatura o año   | Costos   |
|--|--------------------------------|--|
| Nordhaus y Moffa (2017)                      | 3°C                            | Reducción de -2,04 por ciento del PIB  |
|  | 6°C                            | Caída de 8,0 por ciento del PIB  |
| Howard y Sterner (2016)                      | 3°C                            | Reducción entre -1,9 y -17,3 por ciento del PIB  |
| Opinión de expertos: Howard y Sterner (2016) | 1° y 3°C                       | Reducción entre -2,3 y -11,5 por ciento del PIB  |
| Newell, et al. (2018)                        | 2100                           | 1 y 2 por ciento del PIB al 2100   |
| OCDE (2015)                                  | 2°C                            | Reducción de -2,04 por ciento del PIB  |
|  | 6°C                            | Reducción de -8,06 por ciento del PIB  |
|  | 1,5°C a 4,5°C en 2060          | Reducción 1 a 3,3 por ciento del PIB   |
|  | 2°C                            | Reducción de -2,04 por ciento del PIB  |
|  | 4°C en 2100                    | Reducción entre -2 y -10 por ciento del PIB  |
| IPCC (2014)                                  | 2°C                            | Reducción de -0,2 a -2,0 por ciento del PIB  |
| Kahn et al., (2019)                          | 0,04°C anual acumulado al 2100 | Reducción de -7,22 por ciento del PIB <i>per cápita</i> global                           |
| Kalkuhl, y Wetz (2020)                       | 3,5°C al 2100                  | Reducción entre -7 y -14 por ciento del PIB con impactos más intensos en regiones pobres |
| Burke et al., (2015)                         | 2100                           | Reducción de -23 por ciento del PIB  |
| Nordhaus (2008)                              | 3,4°C                          | Reducción de -2,80 por ciento del PIB  |
| Nordhaus (2013)                              | 2,9°C                          | Reducción de -2,3 por ciento del PIB   |
| Frankhauser (1995)                           | 1°C - 6°C                      | Reducción entre 0 y -10,2 por ciento del PIB   |
| Boselo et al., (2012)                        | 1,5°C                          | Reducción -0,2 y -4,6 por ciento del PIB   |

Fuente: Elaboración de los autores.

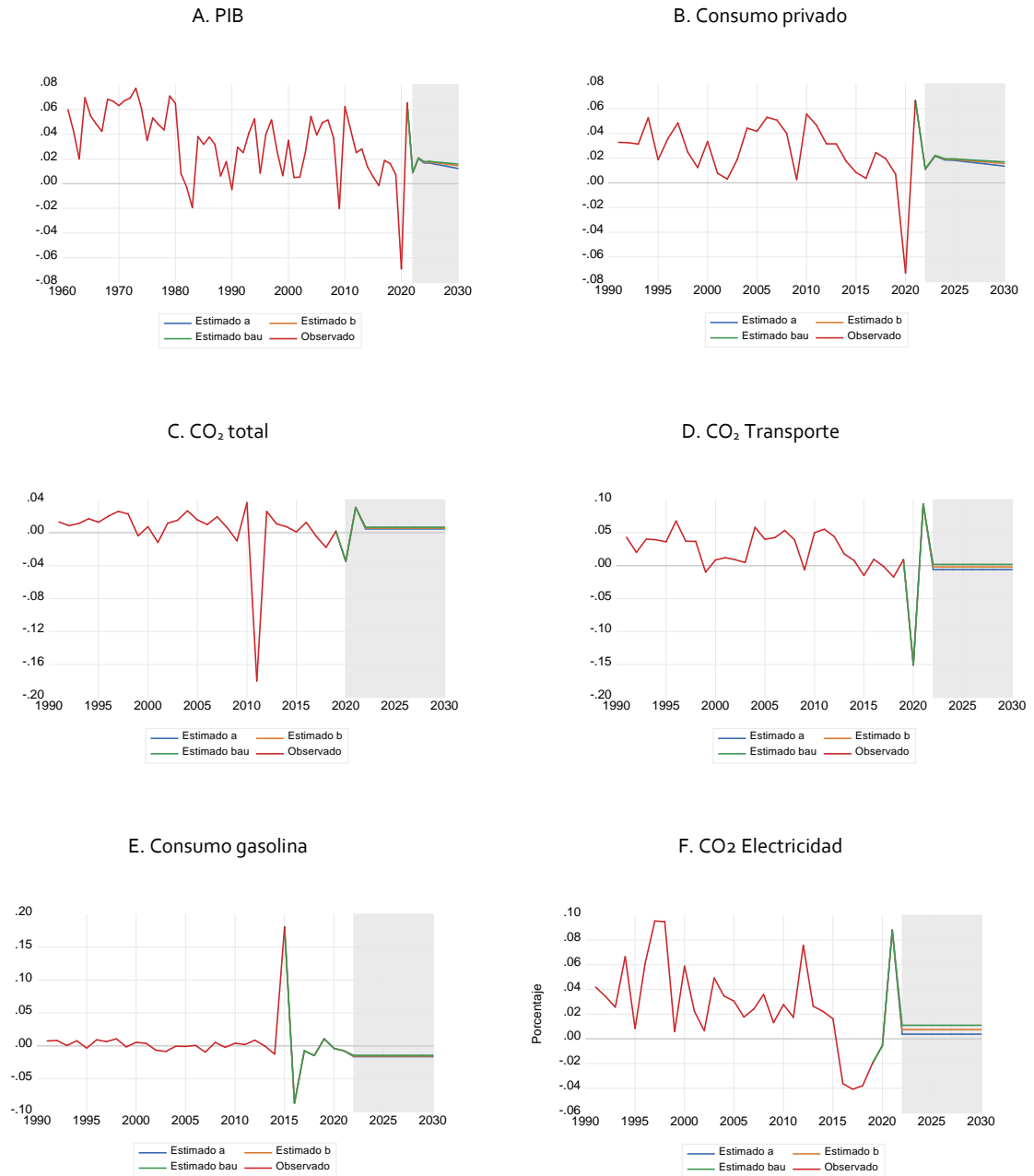
**Cuadro 11**  
**Efectos del cambio climático sobre las tasas de crecimiento del PIB/PIB per cápita**

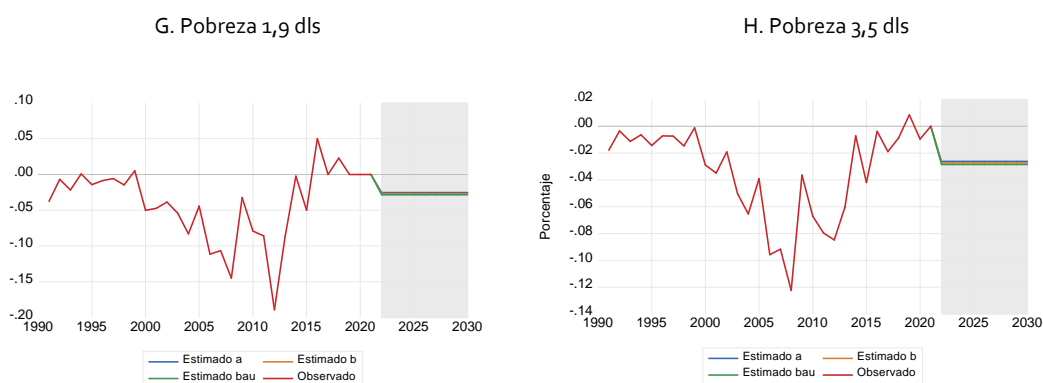
| Autor                    | Aumento de temperatura | Costos económicos (tasas de crecimiento)  |
|--------------------------|------------------------|---|
| Dell et al., (2014)      | 1°C de temperatura     | Pérdidas entre -1 y -2 por ciento en la tasa de crecimiento en países pobres. Pérdida de -2 por ciento para industria (general)   |
| Dell, et al., (2009)     | 1°C de temperatura     | Pérdida de -1.4 por ciento en la tasa de crecimiento del ingreso <i>per cápita</i> de países pobres   |
| Dell, et al., (2012)     | 1°C de temperatura     | Pérdida de reduce tasa de crecimiento económico de entre -1.35 y -1.39 por ciento PIB, de 2.66 por ciento en producto agrícola y 2.04 por ciento en el producto industrial en países pobres   |
| Acevedo et al., (2018)   | 1°C de temperatura     | Pérdida del -0.9 por ciento en la tasa de crecimiento global y de -1.2 por ciento en países en desarrollo y de bajos ingresos.  |
| Kahn et al., (2019)      | 1°C de temperatura     | Pérdida de -1.03 por ciento a la tasa de crecimiento del PIB  |
| Jain et al., (2018)      | 1°C de temperatura     | Pérdida de -2.5 por ciento en la tasa de crecimiento del PIB en India   |
| Anuska et al (2020)      | 1°C de temperatura     | Pérdida de -2.5 por ciento de la tasa promedio de crecimiento anual en India  |
| Jones y Olken (2010)     | 1°C de temperatura     | Pérdida entre -2.0 y -5.7 por ciento en la tasa de crecimiento promedio de las exportaciones de países pobres.  |
| Colacito, et al., (2019) | 1°C de temperatura     | Pérdida entre 0.27-0.45 por ciento para Estados Unidos  |
| Hsiang (2010)            | 1°C de temperatura     | Pérdida de la producción no agrícola de -2.4 por ciento con caída de 6.1 por ciento en ventas restaurantes y hoteles, de -4.2 por ciento en actividades mineras y -2.2 por ciento en otros servicios y de entre -0.1 por ciento en producción agrícola en Centroamérica y el Caribe |

Fuente: Elaboración de los autores.

Los efectos negativos simulados del cambio climático el 2030 se sintetizan en el Gráfico 5 y Cuadro 11.

**Gráfico 6**  
**Escenario contrafactual de cambio climático**  
*(En porcentajes)*





Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 12**  
Escenario contrafactual de cambio climático: variables seleccionadas

| Variable                     | BAU       |           | Escenario a |           | Escenario b |           |
|------------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|                              | Periodo   |           | Periodo     |           | Periodo     |           |
|                              | 2022-2025 | 2025-2030 | 2022-2025   | 2025-2030 | 2022-2025   | 2025-2030 |
| PIB                          | 2,62      | 1,67      | 2,55        | 1,39      | 2,59        | 1,56      |
| Consumo privado              | 2,77      | 1,78      | 2,70        | 1,53      | 2,74        | 1,68      |
| CO <sub>2</sub> e            | 1,16      | 0,68      | 0,97        | 0,45      | 1,06        | 0,56      |
| CO <sub>2</sub> electricidad | 2,63      | 1,09      | 2,06        | 0,37      | 2,34        | 0,73      |
| CO <sub>2</sub> transporte   | 2,03      | 0,19      | 1,39        | -0,59     | 1,71        | -0,20     |
| Pobreza 1,9 dls              | -2,28     | -2,85     | -2,02       | -2,53     | -2,15       | -2,69     |
| Pobreza 3,5 dls              | -2,28     | -2,85     | -2,09       | -2,61     | -2,18       | -2,73     |
| Consumo de gasolina          | -1,29     | -1,42     | -1,45       | -1,63     | -1,36       | -1,52     |
| GINI                         | 0,463     | 0,461     | 0,463       | 0,461     | 0,463       | 0,461     |

Fuente: Elaboración de los autores.

### C. Escenario III: Escenario de precio al carbono

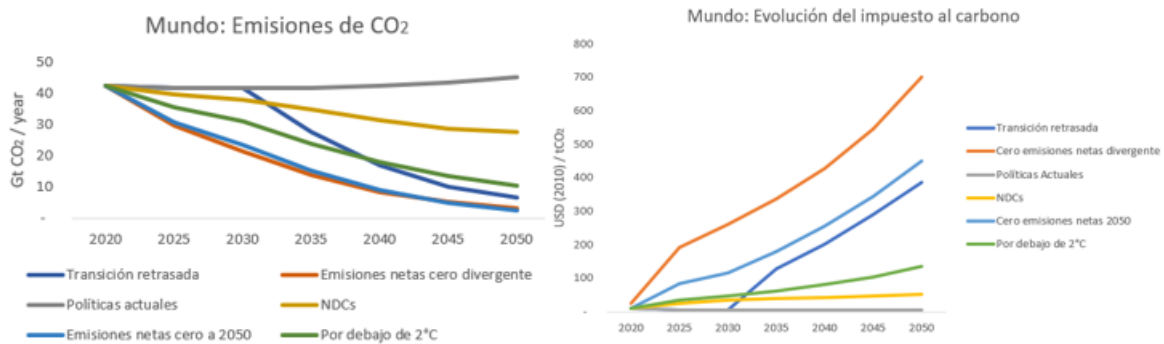
El escenario de precio al carbono muestra que el precio al carbono es relevante para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero y, además, otras externalidades negativas como el consumo de gasolina. Sin embargo, este precio al carbono es insuficiente para configurar un escenario que lleve a una economía carbono neutral y, además, ocasiona efectos contraccionistas en la trayectoria el PIB y por este canal de transmisión tiene efectos negativos en el ritmo de reducción de la pobreza, en el consumo y en la generación de empleo y muy probablemente en la distribución del ingreso.

Las estimaciones econométricas muestran que existe una baja elasticidad precio de los combustibles fósiles y, en general, de las emisiones de CO<sub>2</sub>e<sub>t</sub> que es insuficiente para controlar el aumento de las emisiones en un entorno de crecimiento económico continuo con altas elasticidades ingreso de la demanda de combustibles fósiles. Asimismo, las estimaciones con datos panel muestra que el impuesto al carbono tiene efectos positivos a través del precio internacional del petróleo en la tasa de inflación lo que se traduce en un ajuste de la inversión y en el consumo.

Los supuestos de este escenario son:

- Un aumento al precio al carbono que se traslada al aumento del precio de la energía. Las simulaciones se basan en los escenarios (NGFS, 2021) y se utiliza un precio al carbono de USD \$100 tCO<sub>2</sub>e<sub>t</sub> al 2030 (Gráfico 6).

**Gráfico 7**  
**Escenarios de mitigación y precio al carbono**



Fuente: NGFS (2021).

Este precio al carbono se traduce la siguiente correspondencia con el aumento de precios de petróleo (Cuadro 12). Este precio se trasladó al precio de la gasolina (80%) y al precio de la electricidad (4,0%).

**Cuadro 13**  
**USD \$100 tCO<sub>2</sub>e<sub>t</sub>**

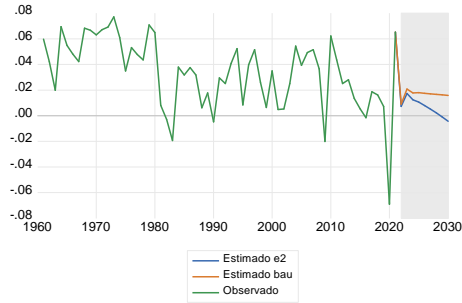
| Precio carbón | Precio petróleo | Precio Gas |
|---------------|-----------------|------------|
| 870%          | 80%             | 58%        |

Fuente: Presentación Power Point del modelo NIGEM.

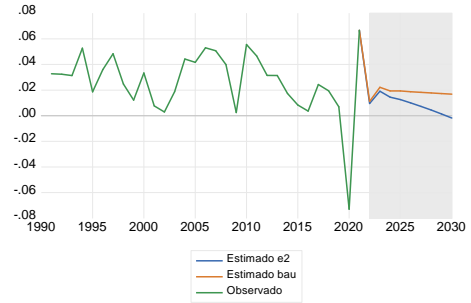
Los escenarios simulados al 2030 se sintetizan en el Gráfico 7 y Cuadro 13.

**Gráfico 8**  
**Escenario contrafactual de precio al carbono**

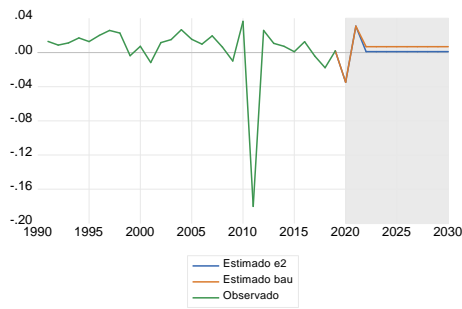
A. PIB



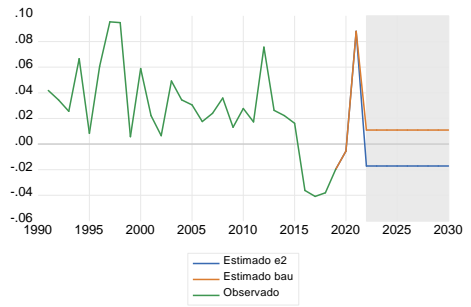
B. Consumo privado



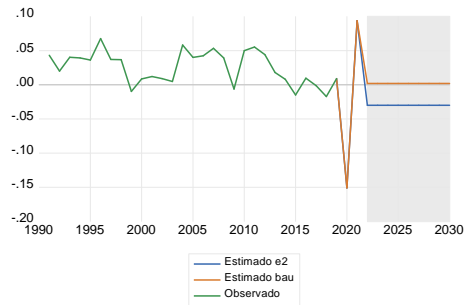
C. CO<sub>2</sub> Total



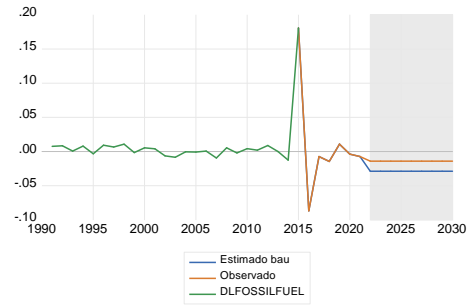
D. CO<sub>2</sub> Electricidad

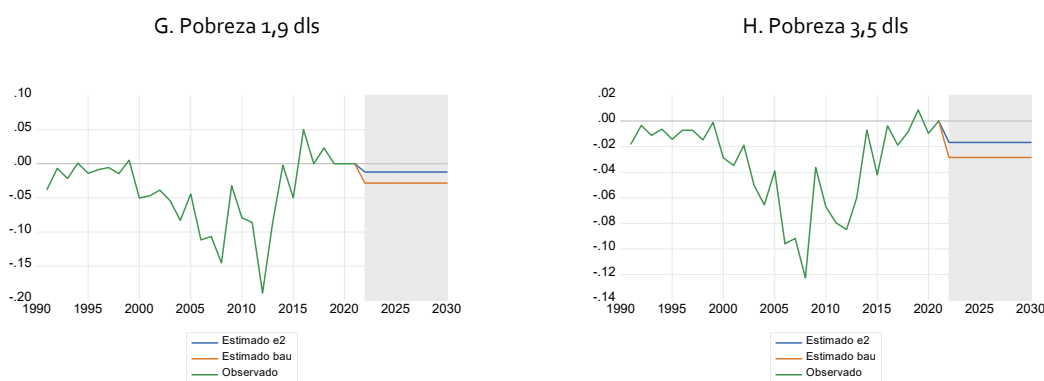


E. Co<sub>2</sub> Transporte



F. Consumo gasolina





Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 14**  
Escenario contrafactual de precio al carbono: variables seleccionadas

| Variable                     | BAU       |           | Escenario 2 |           |
|------------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
|                              | Periodo   |           | Periodo     |           |
|                              | 2022-2025 | 2025-2030 | 2022-2025   | 2025-2030 |
| PIB                          | 2,62      | 1,67      | 2,26        | 0,20      |
| Consumo privado              | 2,77      | 1,78      | 2,45        | 0,43      |
| CO <sub>2</sub> e            | 1,16      | 0,68      | 0,70        | 0,11      |
| CO <sub>2</sub> electricidad | 2,63      | 1,09      | 0,39        | -1,71     |
| CO <sub>2</sub> transporte   | 2,03      | 0,19      | -0,52       | -3,00     |
| Pobreza 1,9 dls              | -2,28     | -2,85     | -0,98       | -1,22     |
| Pobreza 3,5 dls              | -2,28     | -2,85     | -1,34       | -1,67     |
| Consumo de gasolina          | -1,29     | -1,42     | -2,45       | -2,88     |
| GINI                         | 0,463     | 0,461     | 0,463       | 0,461     |

Fuente: Elaboración der los autores.

## D. Escenario IV: Escenario de transición climática con precio al carbono y distribución del ingreso

El escenario de transición climática con precio al carbono y distribución del ingreso muestra que una mejor distribución del ingreso favorece lo procesos de mitigación al mismo tiempo que contribuye a reducir la pobreza y la mortalidad infantil y a mejorar las condiciones sociales.

De este modo, existe una estrategia de mitigación que, al mismo tiempo, mejore las condiciones sociales. Esto permite construir una coalición estable con mejoras sociales y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta estrategia está en el centro de la construcción de una estrategia de transición climática justa.

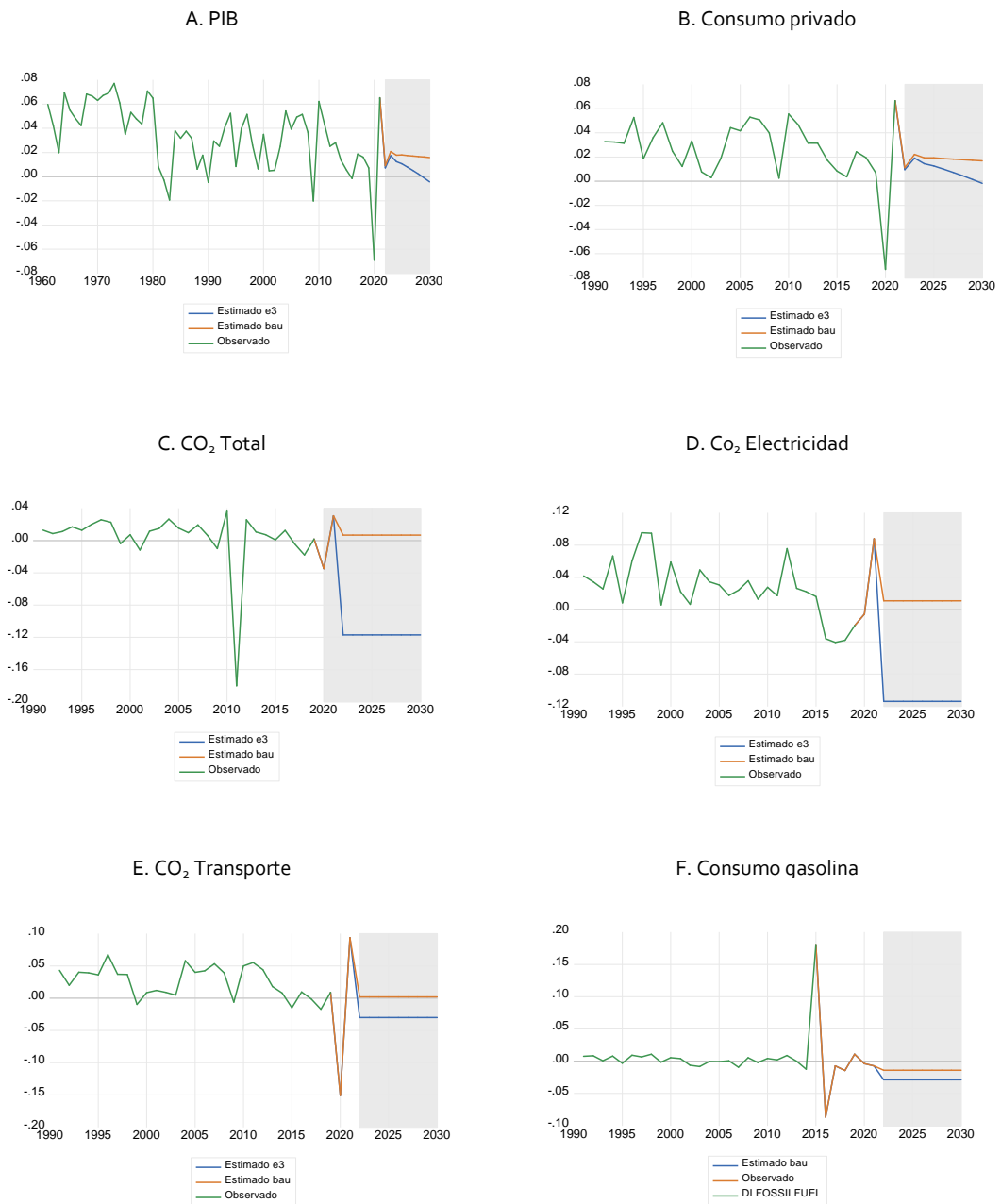
Los supuestos de este escenario BAU son:

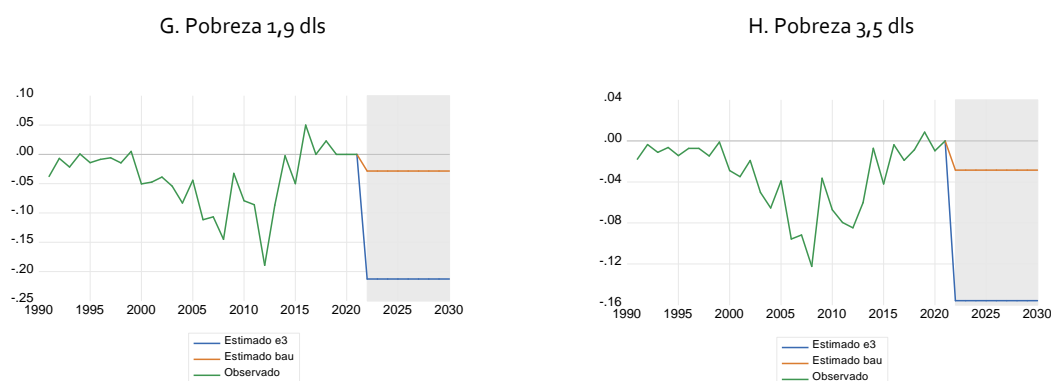
- Precio al carbono de USD \$100 tCO<sub>2</sub>e<sub>t</sub>
- Distribución del ingreso: El coeficiente de Gini pasa de 0.555 de América Latina y el caribe a un coeficiente de Gini de 0.253 de Noruega.



Los escenarios simulados al 2030 se sintetizan en el Gráfico 8 y Cuadro 14.

**Gráfico 9**  
**Escenario contrafactual de transición climática**





Fuente: Elaboración de los autores.

**Cuadro 15**  
Escenario contrafactual de precio al carbono: variables seleccionadas

| Variable                     | BAU         |             | Escenario 3 |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | Periodo     |             | Periodo     |             |
|                              | 2022-2025   | 2025-2030   | 2022-2025   | 2025-2030   |
| PIB                          | 2,62        | 1,67        | 2,26        | 0,20        |
| Consumo privado              | <b>2,77</b> | <b>1,78</b> | <b>2,45</b> | <b>0,43</b> |
| CO <sub>2</sub> e            | 1,16        | 0,68        | -8,74       | -11,70      |
| CO <sub>2</sub> electricidad | 2,63        | 1,09        | -7,34       | -11,38      |
| CO <sub>2</sub> transporte   | 2,03        | 0,19        | -0,52       | -3,00       |
| Pobreza 1.9 dls              | -2,28       | -2,85       | -17,02      | -21,28      |
| Pobreza 3.5 dls              | -2,28       | -2,85       | -12,46      | -15,58      |
| Consumo de gasolina          | -1,29       | -1,42       | -2,45       | -2,88       |
| GINI                         | 0,463       | 0,461       | 0,395       | 0,261       |

Fuente: Elaboración de los autores.

## E. Escenario V: Escenario de riesgos de transición climática<sup>2</sup>

El escenario de riesgos de transición climática muestra que los ritmos de reducción de la intensidad energética y carbónica para alcanzar una economía carbono neutral en 2050 son actualmente insuficientes y que es indispensable que se incrementen de manera significativa. Más aún, posponer los procesos de mitigación al 2030 lleva a requerir tasas de aumento de la eficiencia energética y de descarbonización muy altas que las hace poco creíbles y, probablemente ineficientes y muy costosas. De este modo, es necesario instrumentar cambios estructurales amplios y urgentes al actual estilo de desarrollo consistente con la construcción de un desarrollo sustentable basado en una economía carbono neutral.

<sup>2</sup> Esta sección sigue a Galindo et al. (2022).

Los supuestos de este escenario de riesgos de transición climática se sintetizan en el Cuadro 15 (NGFS, 2021).

**Cuadro 16**  
**Escenarios para la transición climática**

| Escenarios  | Características   |
|---|---|
| Transición ordenada   | Temperatura: 1,5°C – 2°C.<br>Carbono neutral 2050- 2070.<br>Precio al carbono USD \$10 tCO <sub>2</sub> e anual en 2020.<br>Activos varados.              |
| Transición desordenada  | Temperatura: 1,5°C – 2°C.<br>Carbono neutral 2050 (debido a retraso).<br>Precio al carbono USD \$35 tCO <sub>2</sub> e anual en 2030.<br>Activos varados. |
| Clima caliente ( <i>Hot house</i> ) (Políticas actuales -BAU) | Temperatura: 3°C (NDC) – 4°C.<br>Sin precio al carbono.   |

Fuente: NGFS (2020).

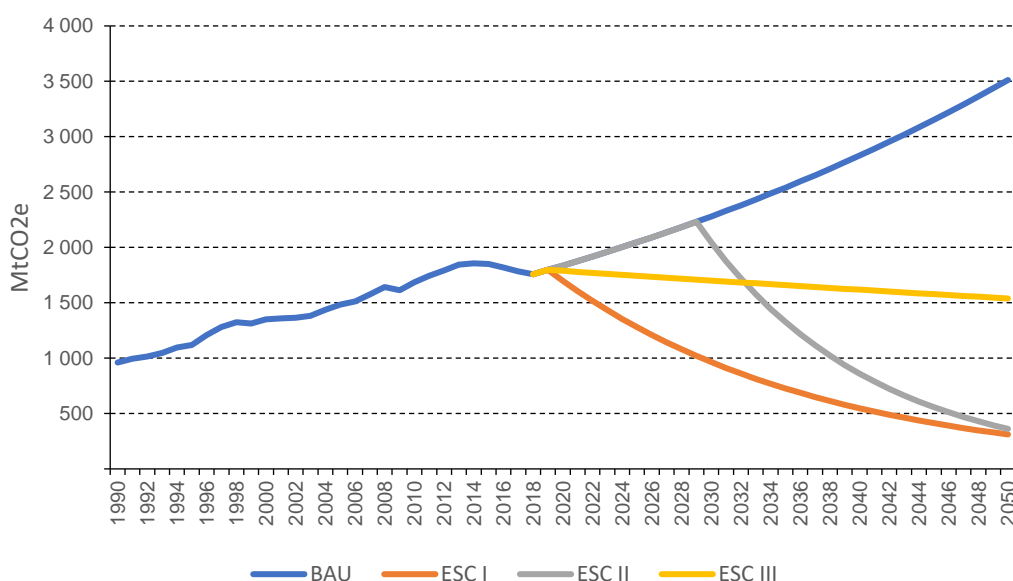
Los escenarios simulados<sup>3</sup> al 2050 para la construcción de una economía carbono neutral<sup>4</sup>, con base en el modelo IPAT, se sintetizan en el Gráfico 7, Cuadro 16 y Cuadro 17 e indican que:

- i) Escenario ordenado, con una tasa de crecimiento promedio anual del PIB de 2%, requiere una tasa de crecimiento promedio anual de la intensidad energética de -3.5% y una tasa de crecimiento promedio anual de la razón de CO<sub>2</sub>ee<sub>t</sub> a consumo de energía de -4%.
- ii) Escenario desordenado, donde se posponen el comienzo de los procesos de mitigación al 2030 con una tasa de crecimiento promedio anual del PIB de 2%, requiere una tasa de crecimiento promedio anual de la intensidad energética de -5% y una tasa de crecimiento promedio anual de la razón de CO<sub>2</sub>ee<sub>t</sub> a consumo de energía de -5.3%.
- iii) Escenario de rápido crecimiento, con una tasa de crecimiento promedio anual del PIB de 4% y tasas de crecimiento promedio anual de las razones de consumo de energía a PIB y de emisiones provenientes del consumo de energía a consumo de energía de -2% y -2.5%.

<sup>3</sup> Están escenarios simulados están en Galindo et al., (2022). Con el EXCEL del modelo IPAT pueden construirse otros escenarios.

<sup>4</sup> El escenario de economía carbono neutral supone que las emisiones *per cápita* del sector energía son menores a 0.5 tCO<sub>2</sub>ee al final del período.

**Gráfico 10**  
Escenarios de las emisiones de energía (CO<sub>2</sub>ee<sub>t</sub>) al 2050: Modelo IPAT



Fuente: Galindo et al., (2022).

**Cuadro 17**  
Escenarios de tasas de crecimiento al 2050: Modelo IPAT

| Variable/Escenario    | BAU   | Escenario ordenado | Escenario desordenado | Escenario crecimiento |
|-----------------------|-------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| PIB                   | 2,80  | 2,00               | 2,00                  | 4,00                  |
| CE/PIB                | -0,61 | -3,50              | -5,00                 | -2,00                 |
| CO <sub>2</sub> ee/CE | 0,01  | -4,00              | -5,30                 | -2,50                 |
| CO <sub>2</sub> ee    | 2,18  | -5,50              | -8,30                 | -0,50                 |

Fuente: Galindo, et al., (2022).

**Cuadro 18**  
Escenarios de las emisiones de CO<sub>2</sub>ee<sub>t</sub> al 2050: Modelo IPAT

| Variable/Escenario               | BAU      | Escenario I | Escenario II | ESC crecimiento |
|----------------------------------|----------|-------------|--------------|-----------------|
| CO <sub>2</sub> ee               | 3 511,56 | 311,19      | 361,59       | 1 538,68        |
| CO <sub>2</sub> ee <sub>pc</sub> | 4,61     | 0,41        | 0,47         | 2,02            |

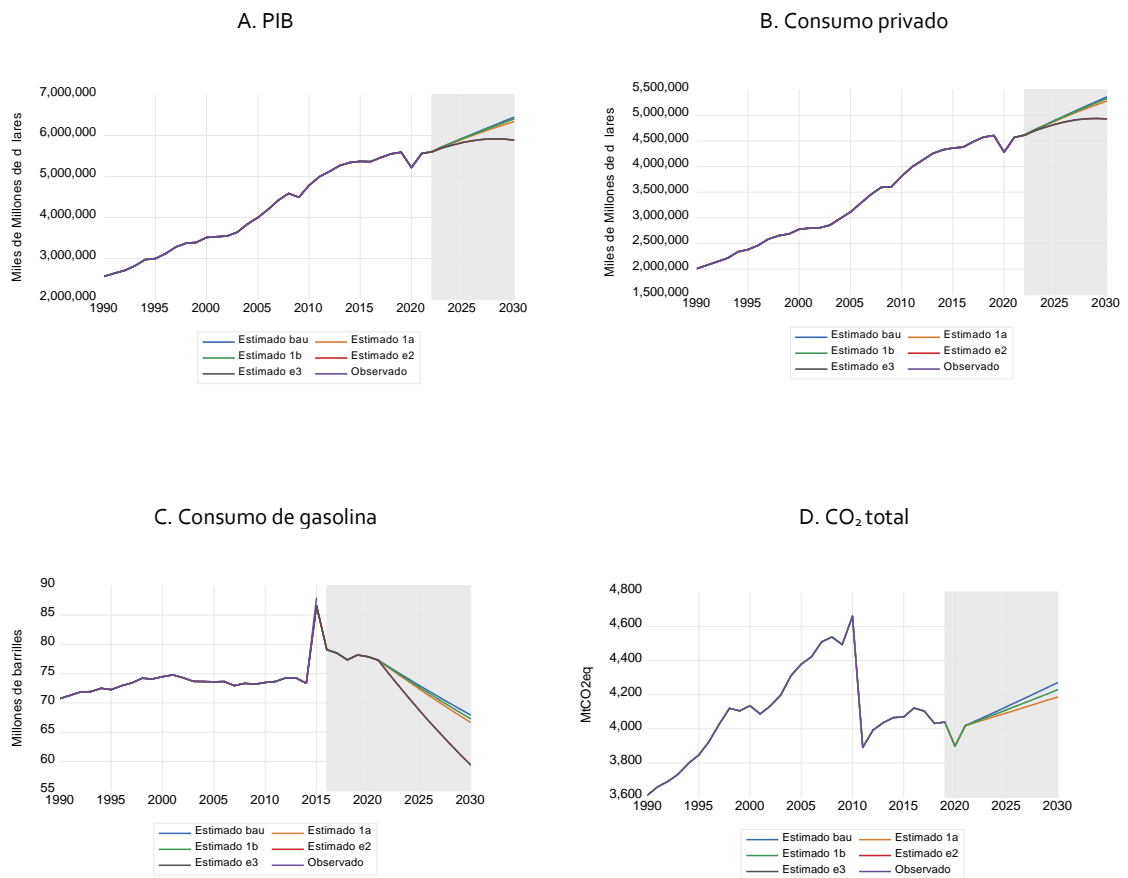
Fuente: Galindo et al., (2022).

## F. Análisis general de escenarios

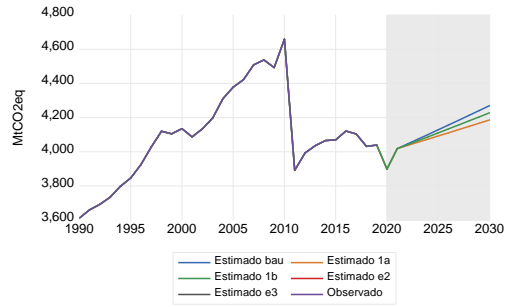
Los escenarios elaborados para propósitos ilustrativos sintetizados en el Gráfico 10, muestran que el actual estilo de desarrollo está sujeto a la crítica de la paradoja del desarrollo y, por tanto, no es consistente con una economía carbono neutral ni con un desarrollo sustentable. Esto es, requiere un ritmo de crecimiento continuo e importante para elevar el consumo y el empleo y reducir la pobreza, sin embargo, la dinámica

económica es insuficiente para atender los desafíos de la pobreza, el empleo y genera un conjunto de externalidades negativas. De este modo, es indispensable instrumentar transformaciones estructurales amplias y urgentes al actual estilo de desarrollo. Para ello, es indispensable construir un amplio y estable consenso económico, social y político favorable a estas transformaciones. Esta coalición para una transición climática justa tiene como su eje una mejora en la distribución del ingreso.

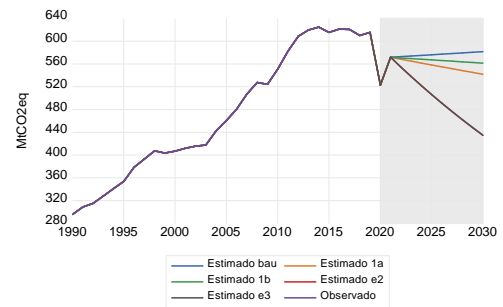
**Gráfico 11**  
**Síntesis de escenarios prospectivos al 2030**



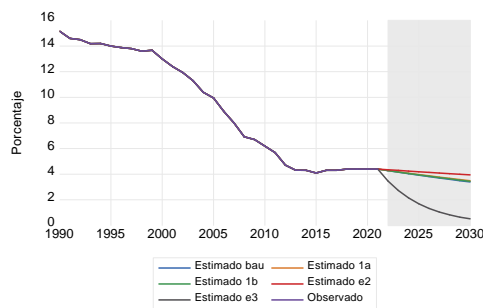
E. Co2 Electricidad



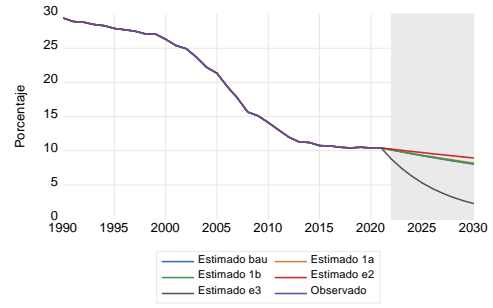
F. Co2 Electricidad



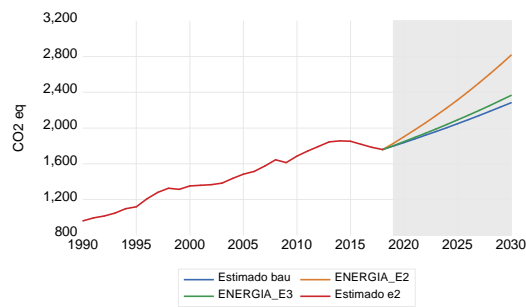
G. Pobreza 1,9 dls



H. Pobreza 3,5 dls



I. Energía



Fuente: Elaboración propia con base en el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>.

**Cuadro 19**  
**Resultados de las simulaciones de escenarios prospectivos al 2030**  
*(Crecimiento promedio anual)*

| Variable                       | BAU   | Escenario 1 a | Escenario 1 b | Escenario 2 | Escenario 3 |
|--------------------------------|-------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| PIB                            | 2,14  | 1,97          | 2,08          | 1,23        | 1,23        |
| Consumo privado                | 2,27  | 2,12          | 2,21          | 1,44        | 1,44        |
| Consumo de gasolina            | -1,36 | -1,54         | -1,44         | -2,67       | -2,67       |
| CO <sub>2</sub> e              | 0,92  | 0,71          | 0,81          | 0,40        | -10,22      |
| CO <sub>2</sub> e electricidad | 1,86  | 1,22          | 1,54          | -0,66       | -9,36       |
| CO <sub>2</sub> e transporte   | 1,11  | 0,40          | 0,76          | -1,76       | -1,76       |
| CO <sub>2</sub> e Energía      | 2,1   | 2,1           | 2,1           | 5,1         | 0           |
| Pobreza 1,9 dls                | -2,56 | -2,28         | -2,42         | -1,10       | -19,15      |
| Pobreza 3,5 dls                | -2,56 | -2,35         | -2,46         | -1,51       | -14,02      |
| GINI (Valor)                   | 0,462 | 0,462         | 0,462         | 0,462       | 0,328       |

Fuente: Elaboración propia con base en el ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>.

Estas transformaciones estructurales para alcanzar un desarrollo sostenible deben quedar reflejadas en:

Modificaciones en las elasticidades ingreso y precio que condicionan el actual estilo de desarrollo. Por ejemplo, elevar las elasticidades entre la pobreza, la mortalidad infantil y el ingreso o ingreso *per cápita* y reducir las elasticidades ingreso e ingreso *per cápita* con respecto al consumo de los diferentes tipos de energía, la demanda de gasolina y las emisiones de gases de efecto invernadero.

- i) Desacoplamiento entre la trayectoria del PIB y las emisiones del sector energético a través de aumento significativo de la eficiencia energética y de la des-carbonización de la economía.
- ii) Una tasa de crecimiento del PIB del 3% - 4% superior al promedio histórico del período 1990 – 2020. Ello implica reconocer que el dinamismo económico es relevante para atender los desafíos del desarrollo sostenible pero que no puede ser la única palanca para alcanzar las metas de los ODS en pobreza y condiciones sociales. Ello debe estar apoyado por sistemas de protección social de tipo universal. La construcción de estos sistemas de protección social requiere consolidar las finanzas públicas incluyendo, por ejemplo, el uso de impuestos ambientales o verdes.
- iii) La construcción de una nueva matriz de servicios públicos y privados consistente con un desarrollo sostenible. Ello implica construir una nueva infraestructura consistente con desarrollo con inclusión social y bajo en carbono.

## VI. Resumen y conclusiones

Este estudio presenta una estimación de un modelo econométrico estructural de pequeña escala (Modelo Econométrico Estructural de Emisiones de CO<sub>2</sub>e<sub>t</sub> y Cambio Climático (ME<sup>3</sup>C<sup>3</sup>)) con el propósito de analizar los potenciales efectos negativos del cambio climático sobre la actividad económica. La especificación del modelo permite evaluar los potenciales impactos del cambio climático y los esfuerzos de mitigación de emisiones de GEI para América Latina y el Caribe, considerando escenarios contrafactuales relevantes para el análisis de alternativas de política pública para avanzar hacia la neutralidad del carbono en el horizonte 2050-2070.

La formulación econométrica se apoya en el nuevo enfoque keynesiano y se construye bajo el supuesto de que la respuesta ante el cambio climático constituye un desafío de desarrollo a nivel global y, en particular, para los países de la región. El esquema de modelización utilizado ha contribuido a subrayar que los esfuerzos orientados a reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático y a instrumentar procesos de mitigación para ser eficientes, creíbles y exitosos, deberían abordarse en un contexto analítico amplio, considerando las múltiples interacciones que existen entre la transición climática y los resultados macroeconómicos y sociales.

Las principales conclusiones que se desprenden de las estimaciones realizadas indican que las variables endógenas del modelo se encuentran estrechamente asociadas a la evolución del producto y del producto *per cápita*. Por un lado, se observa que el crecimiento económico se encuentra relacionado con las posibilidades de incrementar el consumo, de estimular la inversión productivo y de reducir la pobreza. Sin embargo, las elasticidades estimadas en las ecuaciones de comportamiento son relativamente bajas y, por ende, plantean desafíos adicionales a la hora de atender desafíos económicos, sociales y ambientales, como la disminución de la pobreza y el uso sustentable de los recursos naturales. Por el otro lado, el crecimiento económico aparece asociado, también, al aumento del consumo de energía y a mayores emisiones de GEI. En este sentido, una trayectoria de crecimiento económico inercial (*Business As Usual*, BAU) no resultaría consistente con la meta de conformar una economía carbono neutral entre 2050-2070, al tiempo que no contribuiría a atender los desafíos en materia



de generación de empleo que la región requiere para avanzar en una senda de desarrollo socialmente inclusivo y ambientalmente sustentable.

De hecho, el actual estilo de crecimiento configura un dilema de desarrollo, en la medida en que la dinámica económica que prevalece actualmente en la región resulta incompatible con el avance económico y social y, además, ocasiona un aumento continuo de externalidades ambientales negativas, que son inconsistentes con un desarrollo sustentable.

A nivel agregado, las estimaciones de las elasticidades precio de la demanda de consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero, ponen en evidencia la escasa respuesta que tienen los niveles de consumo consumidos ante variaciones de precios de relativos relevantes. En este contexto, un escenario de crecimiento económico continuo, acompañado de aumentos moderados de precios relativos de la energía producida a partir de combustibles fósiles es inconsistente con un proceso de descarbonización profunda que requieren las economías de la región.

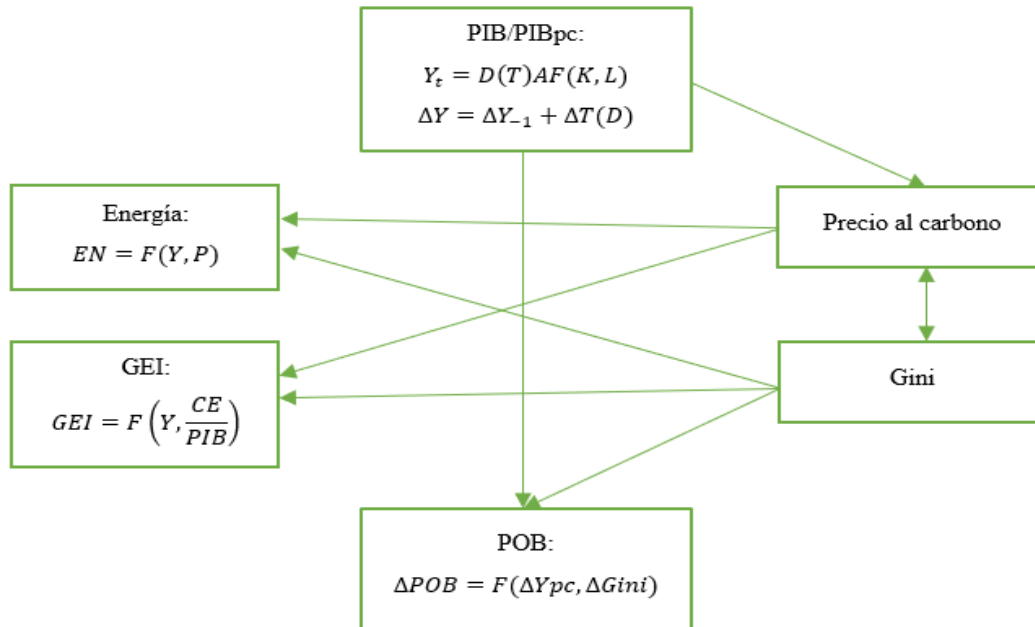
El esfuerzo de modelización muestra que existen múltiples canales de transmisión del cambio climático sobre las variables económicas, sociales y ambientales. En particular, el trabajo destaca el papel de dos canales de transmisión. En primer lugar, se aporta evidencia acerca de efectos negativos del cambio climático, que limitan las posibilidades de crecimiento económico de largo plazo, y que se expresan a través del denominado "canal del producto" o riesgos físicos. En segundo lugar, el estudio realizado muestra que el comportamiento de la distribución del ingreso, representada de forma sintética por el índice de Gini, se encuentra asociado positivamente con las emisiones de GEI, actuando como un "canal distributivo". De este modo, los resultados de las estimaciones indican que en ALC una mejor distribución del ingreso contribuiría a reducir la población que se encuentra en situación de pobreza y a disminuir la mortalidad infantil y, al mismo tiempo a reducir las emisiones de GEI.

Los resultados obtenidos muestran que, al diseñar una estrategia de mitigación de largo plazo para ALC, la aplicación de un impuesto al carbono es fundamental para la construcción de una economía carbono neutral. Sin embargo, las bajas elasticidades precio de la demanda de energía y de las emisiones de GEI y las altas elasticidades ingreso de la demanda de energía y de las emisiones de CO<sub>2e,t</sub>, indican que el aumento, en rangos razonables, del precio del carbono no sería suficiente para promover una descarbonización profunda, en un contexto de crecimiento económico continuo. La evidencia expuesta muestra que un aumento drástico del precio al carbono podría afectar el ritmo de crecimiento económico y ocasionaría efectos, potencialmente, regresivos en la distribución del ingreso.

En este contexto, sería factible avanzar en la construcción de una coalición a favor de una mejor distribución del ingreso que contemple avances significativos en materia de mitigación de las emisiones de GEI, en línea con el objetivo de avanzar hacia la neutralidad del carbono, en el marco de una transición climática justa.

La Figura 2 muestra las relaciones básicas de una estrategia de descarbonización profunda basada en una coalición económica, política y social a favor de un desarrollo sustentable que combina mejoras en la distribución del ingreso con los procesos de mitigación de GEI.

**Diagrama 2**  
**Precio al carbono, distribución de ingreso, consumo de energía**  
**y emisiones de gases efecto invernadero**



Fuente: Elaboración de los autores (POB es pobreza).

Las profundas transformaciones que requiere este proceso de transición climática, que incluye modificaciones a las actuales formas de producción y a las pautas de consumo de la población, involucran, necesariamente, mejoras en materia de eficiencia energética, además de un decidido impulso a la electrificación masiva de las actividades económicas y del transporte y un fuerte apoyo público a la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables.

La evidencia aportada muestra, además, que las economías de América Latina y el Caribe son sensibles a diversos *shocks* externos. Las estimaciones realizadas subrayan la importancia de, al menos, los siguientes canales de transmisión: i) el aumento de la tasa de interés de Estados Unidos influye en la inversión y, por esta vía, en el producto; ii) el incremento de los precios de petróleo impacta sobre la demanda de energía y sobre las emisiones de GEI (además, por supuesto, de los efectos de estos precios sobre la tasa de inflación); iii) el producto global influye en el ritmo de crecimiento de las exportaciones de la región; iv) el cambio climático tiene impactos negativos sobre el nivel de producción y sobre la tasa de crecimiento del PIB.

Finalmente, la evidencia expuesta en este trabajo muestra que la curva de Kuznetz no parece sostenerse, al menos en los actuales niveles de ingreso de las emisiones de GEI y, por tanto, es necesario no sólo crecer, sino instrumentar transformaciones estructurales de gran magnitud, que modifiquen sustancialmente el estilo de desarrollo prevaleciente en los países de la región.



## Bibliografía

Alestra, C., Cette, G., Chouard, V., & Lecat, R. (2022). Growth impact of climate change and response policies: The advanced climate change long-term (ACCL) model. *Journal of Policy Modeling*, 44(1), 96–112. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2021.10.001>

Apergis, N., & Ozturk, I. (2015). Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis in Asian countries. *Ecological Indicators*, 52, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.026>

Bårdsen, G., Eitrheim, Ø., Jansen, E. S., & Nymoene, R. (2005). *The Econometrics of Macroeconomic Modelling*. Oxford University Press.

Berg, A., Karam, P. D., & Laxton, D. (2006). *Practical Model-Based Monetary Policy Analysis: A How-To Guide* (SSRN Scholarly Paper Núm. 901872). <https://papers.ssrn.com/abstract=901872>

Blanchard, O. (2017). On the Need for (At Least) Five Classes of Macro Models [Peterson Institute for International Economics]. *Realtime Economics*. <https://www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/need-least-five-classes-macro-models>

Blanchard, O. (2018). On the future of macroeconomic models. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1–2), 43–54. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grx045>

Bond, S., Leblebicioğlu, A., & Schiantarelli, F. (2010). Capital accumulation and growth: A new look at the empirical evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 25(7), 1073–1099. <https://doi.org/10.1002/jae.1163>

Bourguignon, F. (2000). *The pace of economic growth and poverty reduction*. World Bank & Delta-Paris.

Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), Art. 7577. <https://doi.org/10.1038/nature15725>

Burns, A., Van Rensburg, T. J., Dybczak, K., & Bui, T. (2014). Estimating potential output in developing countries. *Journal of Policy Modeling*, 36(4), 700–716. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2014.04.004>

Carnot, N., Koen, V., & Tissot, B. (2005). *Economic Forecasting*. Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1057/9780230005815>

Cermeño, R., Dancourt, O., Ganiko, G., & Mendoza, W. (2018). *¿Qué hubiera pasado en 2014-2016 si...? Un modelo macroeconómico para el Perú*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/126776>

Coutiño, A y M. Zandi (2021), Global loss of production capacity caused by the COVID-19 pandemic, *Journal of Policy MOdeling*, 43, pp. 493-502.

Davidson, J. E. H. (1978). Econometric Modelling of the Aggregate Time-Series Relationship between Consumers' Expenditure and Income in the United Kingdom. *Economic Journal*, 88(352), 661–692.

De Gregorio, J. (2012). *Macroeconomía. Teoría y Políticas* (1ra ed.). Pearson Education Limited.

Deaton, A., & Muellbauer, J. (1980a). An Almost Ideal Demand System. *The American Economic Review*, 70(3), 312–326.

Deaton, A., & Muellbauer, J. (1980b). *Economics and Consumer Behavior*. Cambridge University Press.

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66–95. <https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2014). What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature. *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740–798.

Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277–300.

Ekins, P. (1997). The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 29(5), 805–830. <https://doi.org/10.1068/a290805>

Ekins, P. (2000). *Economic Growth and Environmental Sustainability: The Prospects for Green Growth*. Routledge.

Engle, E. by R. F., & Granger, C. W. J. (Eds.). (1992). *Long-Run Economic Relationships: Readings in Cointegration*. Oxford University Press.

Esteve, V., & Tamarit, C. (2012). Threshold cointegration and nonlinear adjustment between CO<sub>2</sub> and income: The Environmental Kuznets Curve in Spain, 1857–2007. *Energy Economics*, 34(6), 2148–2156.

Galí, J., & Gertler, M. (2007). Macroeconomic Modeling for Monetary Policy Evaluation. *Journal of Economic Perspectives*, 21(4), 25–46. <https://doi.org/10.1257/jep.21.4.25>

Galindo, L.M., P. Reyes y F. González (2022), Escenarios para la transición energética a una economía carbono neutral en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados, *Temas de Economía, Nueva Época*, año 3, número 6, julio-diciembre, pp. 1-35.

Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Ferrer, J., & Reyes, O. (2023). *Cambio climático, agricultura y pobreza en América latina y el caribe; una prospectiva al 2050*. Documento de trabajo (a publicarse).

Garratt, A., Lee, K., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). A Long Run Structural Macroeconometric Model of the UK. *The Economic Journal*, 113(487), 412–455.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>

Hantzsche, A., Lopresto, M., & Young, G. (2018). Using NiGEM in Uncertain Times: Introduction and Overview of NiGEM. *National Institute Economic Review*, 244(1), R1–R14. <https://doi.org/10.1177/002795011824400109>

Heil, M. T., & Selden, T. (2001). Carbon emissions and economic development: Future trajectories based on historical experience. *Environment and Development Economics*, 6(1), 63–83.

Hsiang, S. M. (2016). *Climate Econometrics* (Working Paper Núm. 22181). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w22181>

IPCC. (2014). *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (p. 157). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C* (Núm. SR15). Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jones, C., & Dietrich, V. (2013). *Introduction to Economic Growth* (3rd ed.). W.W. Norton. <https://wwnorton.com/books/9780393919172>

Labandeira, X., León, C., & Vázquez, M. X. (2007). *Economía ambiental* (1ra ed.). Pearson Education Limited. <https://www.pearsoneducacion.net/mexico/tienda-online/economia-ambiental-labandeira-1ed-ebook1>

Lin, S., Zhao, D., & Marinova, D. (2009). Analysis of the environmental impact of China based on STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(6), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.ear.2009.01.009>

Nakicenovic, N., & Group, I. P. on C. C. R. S. W. (2000). *Special report on emissions scenarios*. Cambridge University Press. <https://digitallibrary.un.org/record/466938>

NFGS (2021), NGFS climate scenarios for central banks and supervisors, Network for Greening the Financial System.

OECD. (2015). *The Economic Consequences of Climate Change*. <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264235410-en>

Perrotti, D. E., & Sánchez, R. (2011). *La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6357>

Poudel, B. N., Paudel, K. P., & Bhattarai, K. (Eds.). (2009). Searching for an Environmental Kuznets Curve in Carbon Dioxide Pollutant in Latin American Countries. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.48759>

Selden, T., & Daqing, S. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147–162.

Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence* (Policy Research Working Paper Series Núm. 904). The World Bank. <https://econpapers.repec.org/paper/wbkwbwrps/904.htm>

Söderbom, M., Teal, F., Eberhardt, M., Quinn, S., & Zeitlin, A. (2014). *Empirical Development Economics*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203070925>

Wallis, K. F. (1980). *Topics in Applied Econometrics*. University of Minnesota Press.

World Bank. (1992). *World Development Report 1992: Development and the Environment*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-1952-0876-5>

Wren-Lewis, S. (2017). Blanchard joins calls for Structural Econometric Models to be brought in from the cold. *Mainly Macro*. <https://mainlymacro.blogspot.com/2017/01/blanchard-joins-calls-for-structural.html>

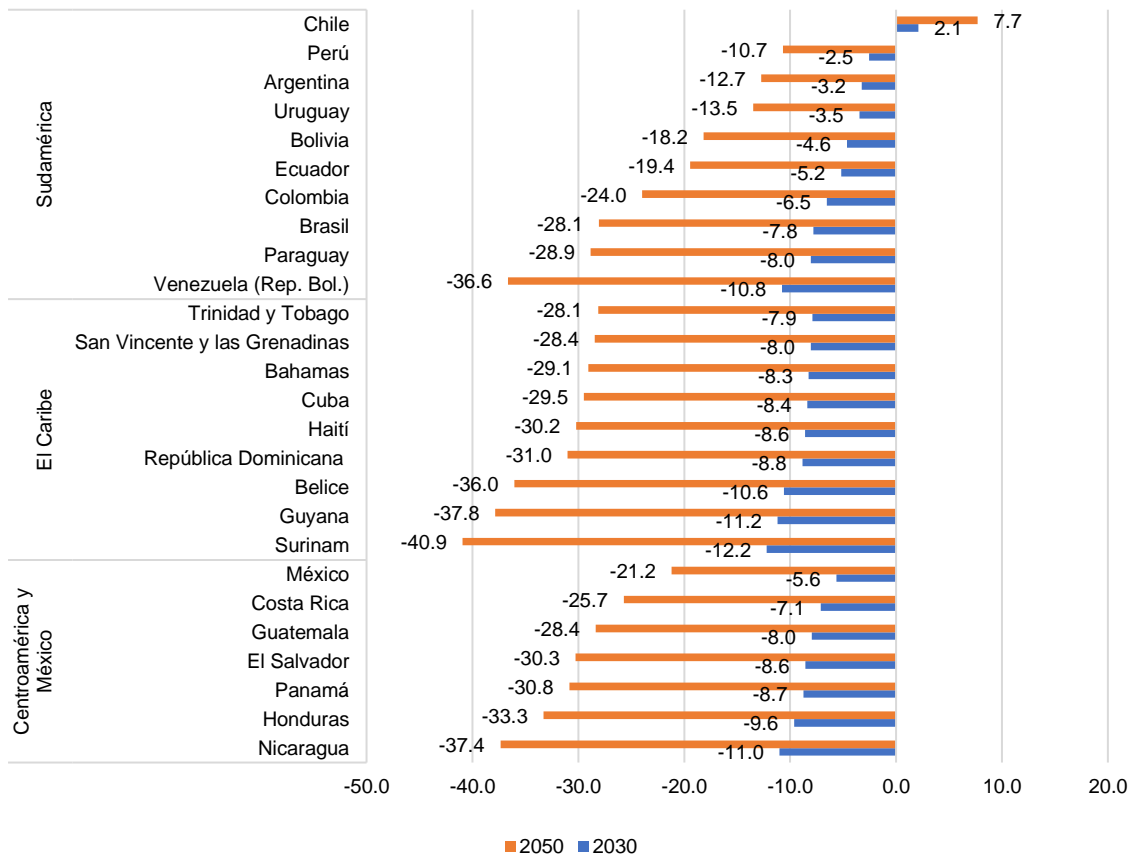
York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImpACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351–365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)



## Anexo



**Gráfico A1**  
**Los costos del cambio climático (Burke, et al., 2015)**



Fuente: Burke et al., (2015).

La variable del capital se construye con base en la hipótesis de inventarios perpetuos:

$$K_{t+1} = K_t + I_t - D_t$$

donde  $K_t$  representa el capital,  $I_t$  es la inversión y  $D_t$  corresponde al capital depreciado. Esta la ecuación (10), bajo el supuesto de una tasa de depreciación constante, puede representarse como:

$$K_{t+1} = (1 - \delta) K_t + I_t$$

donde  $\delta$  representa la tasa de depreciación. Substituyendo repetidamente en la ecuación (11) se observa que el stock de capital en el periodo  $t+1$  es una suma ponderada de las inversiones pasadas con pesos ponderados como una función decreciente de la distancia entre el valor actual y el periodo de la inversión:

$$K_{t+1} = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \delta)^i I_{t-i}$$

Esta ecuación se reemplaza por la ecuación:

$$K_{t+1} = (1 - \delta)^t K_1 + \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \delta)^i I_{t-i}$$

donde  $K_1$  representa el capital al inicio del periodo  $t$ .

La estimación del capital se realiza considerando que un período de 15 años alrededor de 2/3 del capital se ha depreciado. De este modo, es posible estimar el capital inicial a los quince/veinticinco años del período de estudio con base en la ecuación (Burns, et al., 2014):

$$K_0 = PIB_0 + \frac{K_{25}}{PIB_{25}}$$

donde  $K_0$  representa el capital al inicio del período y  $PIB_0$  el PIB al inicio del período.

El objetivo de este estudio es construir un modelo econométrico estructural de pequeña escala, para analizar los potenciales efectos negativos del cambio climático en las actividades económicas y estimar el impacto potencial que tienen los procesos de mitigación de gases de efecto invernadero en América Latina y el Caribe.

El modelo cuenta con diversos bloques con los que se busca incorporar el conjunto de las interacciones entre los impactos del cambio climático y los procesos de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la dinámica económica y social que prevalece en los países de la región, a fin de contribuir a la formulación de una estrategia de transición climática justa, teniendo en consideración que la nueva estrategia de desarrollo de largo plazo debería incorporar de forma explícita los vínculos entre la macroeconomía y la sostenibilidad ambiental. El modelo está especificado de forma simple, lo que permite seguir la lógica subyacente de los impactos y sus canales de transmisión.