

Banerjee, Onil; Cicowiez, Martín

**Working Paper**

## Efectos económicos y ambientales del plan de descarbonización de Costa Rica: Una aplicación de la plataforma IEEM al sector de energía y transporte

IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-01194

**Provided in Cooperation with:**

Inter-American Development Bank (IDB), Washington, DC

*Suggested Citation:* Banerjee, Onil; Cicowiez, Martín (2021) : Efectos económicos y ambientales del plan de descarbonización de Costa Rica: Una aplicación de la plataforma IEEM al sector de energía y transporte, IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-01194, Inter-American Development Bank (IDB), Washington, DC,  
<https://doi.org/10.18235/0003077>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/237480>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>

DOCUMENTO DE TRABAJO DEL BID N° IDB-WP- 01194

# Efectos Económicos y Ambientales del Plan de Descarbonización de Costa Rica: Una Aplicación de la Plataforma IEEM al Sector de Energía y Transporte

Onil Banerjee  
Martín Cicowiez

Banco Interamericano de Desarrollo  
División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres

Marzo 2021

# Efectos Económicos y Ambientales del Plan de Descarbonización de Costa Rica: Una Aplicación de la Plataforma IEEM al Sector de Energía y Transporte

Onil Banerjee  
Martín Cicowiez

Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo  
Banerjee, Onil.

Efectos económicos y ambientales del Plan de Descarbonización de Costa Rica: una  
aplicación de la Plataforma IEEM al sector de energía y transporte / Onil Banerjee,  
Martín Cicowiez.

p. cm. — (Documento de trabajo del BID ; 1194)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Carbon dioxide mitigation-Costa Rica. 2. Greenhouse gas mitigation-Costa Rica. 3. Climate change mitigation-Costa Rica. 4. Transportation-Environmental aspects-Costa Rica. 5. Energy consumption-Environmental aspects-Costa Rica. 6. Environmental economics-Costa Rica-Mathematical models. I. Cicowiez, Martín. II. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. III. Título. IV. Serie. IDB-WP-1194

Códigos JEL: C68 Computable General Equilibrium Models; Q5 Environmental Economics; Q54 Climate; P18 Energy; R40 Transportation Economics.

Palabras claves: Integrated Economic-Environmental Modeling (IEEM) Platform; Plataforma Económico-Ambiental Integrada; modelo de equilibrio general computable dinámico (EGC); cambio climático; descarbonización; emisiones de efecto invernadero; Costa Rica.

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2021] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Después de un proceso de revisión por pares, y con el consentimiento previo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), una versión revisada de esta obra puede reproducirse en cualquier revista académica, incluyendo aquellas indizadas en EconLit de la Asociación Americana de Economía, siempre y cuando se reconozca la autoría del Banco y el autor o autores del documento no hayan percibido remuneración alguna derivada de la publicación. Por lo tanto, la restricción para recibir ingresos de dicha publicación sólo se extenderá al autor(s) de la publicación. Con respecto a dicha restricción, en caso de cualquier incompatibilidad entre la licencia Creative Commons IGO 3.0 Atribución-No comercial - NoDerivatives y estas declaraciones, prevalecerán estas últimas.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



## **Efectos Económicos y Ambientales del Plan de Descarbonización de Costa Rica: Una Aplicación de la Plataforma IEEM al Sector de Energía y Transporte**

Onil Banerjee<sup>1</sup> and Martín Cicowiez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Corresponding author

Inter-American Development Bank

Environment, Rural Development, Environment and Disaster Risk Management Division

1300 New York Avenue N.W.

Washington, D.C., 20577, USA

+1 202 615-0603

[onilb@iadb.org](mailto:onilb@iadb.org)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de la Plata

Facultad de Ciencias Económicas

Universidad Nacional de La Plata

Calle 6 entre 47 y 48, 3er piso, oficina 312

1900

La Plata, Argentina

[mcicowiez@gmail.com](mailto:mcicowiez@gmail.com)

**Códigos JEL:** C68 Computable General Equilibrium Models; Q5 Environmental Economics; Q54 Climate; P18 Energy; R40 Transportation Economics.

**Palabras claves:** Integrated Economic-Environmental Modeling (IEEM) Platform; Plataforma Económico-Ambiental Integrada; modelo de equilibrio general computable dinámico (EGC); cambio climático; descarbonización; emisiones de efecto invernadero; Costa Rica.

## Resumen

Este artículo aplica el Modelo Integrado Económico-Ambiental (IEEM por sus siglas en inglés) al análisis del Plan de Descarbonización (PdD) de Costa Rica. Específicamente, IEEM se emplea para evaluar estrategias orientadas a la descarbonización de los sectores de transporte y energía. En esta modelación de escenarios de descarbonización, IEEM se alimenta con los resultados obtenidos por el Open Source energy MODelling SYStem (OSeMOSYS) que se utilizó para determinar cuáles son los cambios necesarios en el sistema de transporte que permitirían alcanzar las metas del PdD al mismo tiempo que se minimiza el costo de hacerlo. Nuestros resultados muestran que, a nivel sectorial, los sectores ganadores son aquellos vinculados con la generación eléctrica y el transporte. La caída más importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> se registra para el transporte privado, aproximadamente 93 por ciento comparado con business-as-usual en 2050. Además, también se registran una caída de las emisiones que superan el 80 por ciento los sectores de transporte de pasajeros, taxis y transporte de carga.

La implementación del PdD también trae consigo algunas consecuencias que requieren de políticas complementarias. Una consecuencia de la electrificación de la flota privada es que el uso del transporte particular se incrementa respecto del escenario base en 9.2 por ciento en 2050. Este resultado indica que deben considerarse incentivos adicionales para generar una sustitución del transporte privado por el transporte público de pasajeros. Adicionalmente, la implementación del PdD tendrá efectos sobre las finanzas públicas por la reducción en las importaciones de combustibles fósiles. Nuestros resultados señalan que, en 2050, la recaudación arancelaria se reduce respecto de la base en el equivalente a 1.1 puntos porcentuales del PIB.

Un análisis costo beneficio de las estimaciones generadas en este estudio indican que el valor presente neto de las estrategias orientadas al sector de transporte y energético equivale a 0.1 miles de millones de dólares (2016) o 0.2% del PIB del mismo año. Sin embargo, considerando las externalidades positivas que podría generar el PdD sobre la salud y productividad laboral, el VPN asciende a 3.8 miles de millones de dólares.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	2
1. Introducción .....	4
2. Método y Datos.....	5
2.1. El Modelo Integrado Económico-Ambiental para Costa Rica.....	6
2.2. La Base de Datos de IEEM .....	11
2.3. Modelo de Microsimulación .....	17
3. Escenarios del Plan de Descarbonización.....	18
3.1. Escenario Base .....	18
3.2. Escenarios de Descarbonización .....	25
4. Resultados .....	36
4.1. Emisiones, Generación de Electricidad e Importaciones de Refinados de Petróleo .....	38
4.2. Resultados Macroeconómicos y Sectoriales .....	41
4.3. Resultados Distributivos .....	49
4.4. Análisis Costo-Beneficio.....	50
5.0 Conclusiones .....	53
Referencias.....	55
Apéndice A .....	57
Reconocimientos .....	58

## **1. Introducción**

En el contexto del Acuerdo de París, Costa Rica asumió el compromiso de reducir la demanda de energía y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En 2016, 36.5 por ciento de las emisiones de CO<sub>2</sub> estuvieron vinculadas a las actividades que proveen servicios de transporte; esta cifra incluye tanto el transporte de mercancías como el transporte público y privado de pasajeros. En consecuencia, la descarbonización de las actividades vinculadas al transporte, incluyendo el uso de vehículos privados, es fundamental para alcanzar los compromisos internacionales asumidos por Costa Rica.

Así, con el objetivo de reducir la demanda de energía y las emisiones de GEI se han propuesto políticas orientadas a promover la reducción en el consumo de energías contaminantes, por ejemplo, utilización de vehículos más eficientes y promoción del uso del transporte público de pasajeros. La Ley 9518 de 2018 por ejemplo reglamenta incentivos para el transporte eléctrico. El objetivo de este documento es evaluar el efecto de estas políticas tanto en la reducción de las emisiones como en sus impactos económicos incluyendo el ingreso del gobierno. Para ello, utilizamos el Modelo Integrado Económico-Ambiental (IEEM por sus siglas en inglés) que permite un análisis integrado de los efectos económicos y ambientales de las políticas públicas e de inversión (Banerjee et al., 2019a, 2019b, 2016; Onil Banerjee et al., 2020).

En primer lugar, este documento describe el escenario de referencia 2016-2050 para IEEM-Costa Rica (IEEM-CRI). En pocas palabras, a partir de proyectar algunas variables clave (e.g., Producto Interno Bruto (PIB) y población, ingresos y gastos del gobierno, entre otras), IEEM genera una proyección de equilibrio general que incluye, entre otros indicadores, la estructura sectorial, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la tasa de desempleo y el salario promedio. En segundo lugar, dicha proyección de referencia se compara con otras en las que se simulan algunos de los componentes que incorpora el Plan de Descarbonización (PdD); en particular, consideramos las líneas de acción orientadas a los sectores de transporte y energía.

El objetivo que buscamos es analizar los impactos económicos y ambientales del PdD en un marco analítico integrado. Para ello, este trabajo parte de los resultados generados por el modelo Godínez-Zamora et al. (2020) para el PdD de Costa Rica. El resto del documento se organiza de la siguiente



forma. La Sección 2 describe el método y los datos utilizados en este trabajo. La Sección 3, principal del trabajo, presenta los principales resultados que tendría la implementación de escenarios vinculados al PdD para el sector de transporte y energía. La Sección 4 contiene las conclusiones del análisis.

## **2. Método y Datos**

Naturalmente, proyectar las emisiones de CO<sub>2</sub> de un país requiere de un enfoque que permita considerar, de forma simultánea, las interacciones entre todos los componentes de la economía. En particular, deben considerarse tanto las relaciones insumo-producto entre sectores productivos, así como también los distintos componentes de la demanda final – hogares especialmente. Por ejemplo, difícilmente una expansión del sector agroindustrial pueda realizarse sin un incremento simultáneo de la provisión de servicios de transporte. En este sentido, un modelo de equilibrio general (EGC) computable como IEEM es una herramienta ideal porque captura efectos directos e indirectos y de corto y largo plazo de cualquier escenario que analicemos (i.e., base vs. descarbonización). Además, y particularmente relevante en el contexto de este trabajo, IEEM integra información ambiental típicamente asociada con el capital natural. Por ejemplo, se incorpora información sobre uso de la tierra, extracción de recursos naturales no renovables, y emisiones vinculadas con el consumo de productos energéticos.

En términos de los datos, la fuente principal de información para calibrar un modelo de EGC como el contenido en IEEM viene dada por una Matriz de Contabilidad Social (MCS). En pocas palabras, una MCS es una matriz cuadrada que muestra todas las transacciones que se realizaron en una economía (sub-nacional, nacional o mundial) durante un año determinado. En nuestro caso, se construyó una matriz de contabilidad social de Costa Rica para 2016 (ver abajo).

En resumen, el método que empleamos en este estudio es una extensión del análisis de equilibrio general computable para aplicarlo al estudio de fenómenos que impactan la economía y el ambiente. Además, IEEM presta particular atención al modelado de los sectores forestal y minero<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Aunque en el caso específico de Costa Rica, la actividad minera es prácticamente inexistente. Las cuentas nacionales contemplan básicamente la extracción de sal, piedra y arena.

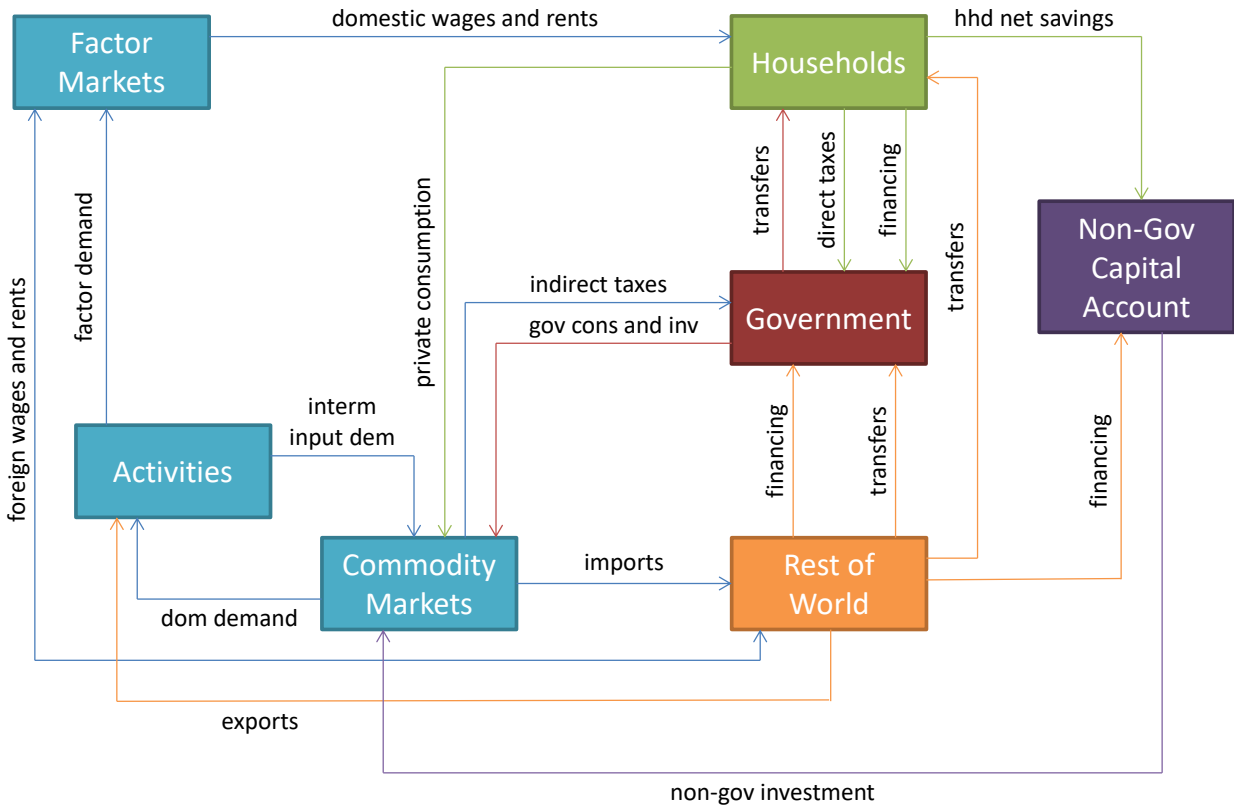
tanto desde el lado de la oferta como desde el lado de la demanda. Por otro lado, el análisis de equilibrio general computable se complementa con un modelo de micro-simulación para estimar de manera más certera los efectos sobre pobreza y desigualdad.

## **2.1. El Modelo Integrado Económico-Ambiental para Costa Rica**

Como dijimos, el modelo de IEEM que utilizamos toma como punto de partida el utilizado en trabajos anteriores tales como Banerjee et al. (2020, 2019a, 2019b, 2016). En esencia, IEEM tiene algunas características relativamente estándar (ver, por ejemplo, Lofgren et al., 2002; Robinson et al., 1999) y otras que lo hacen particularmente útil para evaluar los efectos de choques relacionados con la interacción entre economía y ambiente. En lo que resta de este apartado se realiza una presentación discursiva del modelo. Por su parte, el documento complementario Banerjee and Cicowiez (2020) contiene una presentación detallada de las ecuaciones y variables que conforman IEEM.

El esquema que se presenta en la Figura 2.1 resume los principales flujos económicos que captura el IEEM. Las flechas representan flujos de dinero; en general, a cada una corresponde un flujo de productos o factores de producción en dirección opuesta. Los modelos de EGC tal como el IEEM suelen considerar el lado real de la economía, excluyendo los aspectos monetarios; en consecuencia, no consideran fenómenos tales como la inflación. En cambio, centran su atención en capturar cambios en la forma en que se asignan los recursos de la economía que se modela.

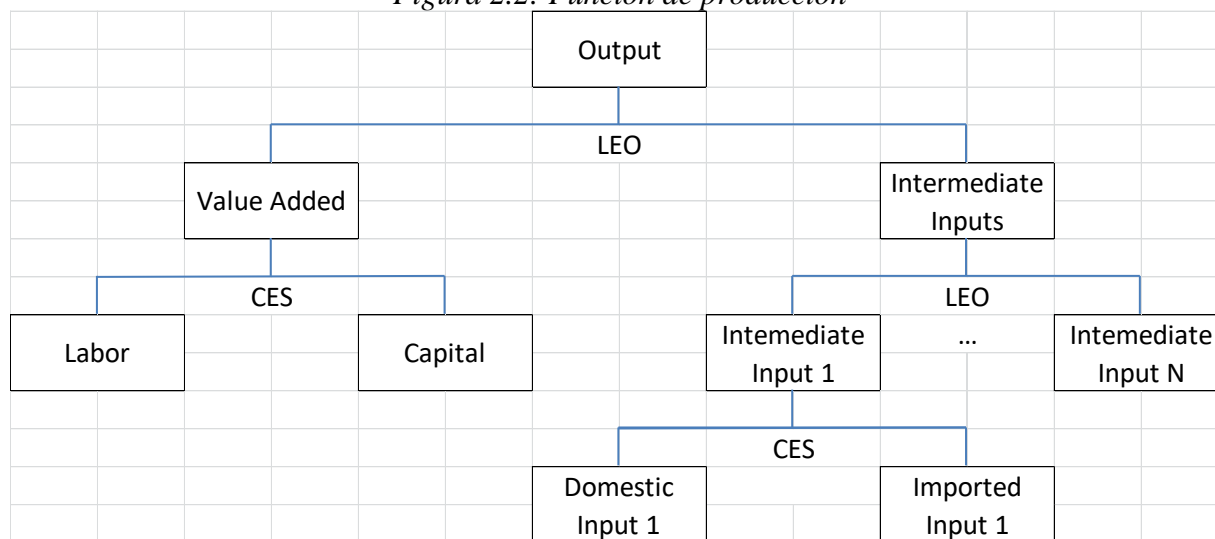
*Figura 2.1: el flujo circular de la renta IEEM*



Fuente: elaboración de los autores.

Los sectores productivos están representados por actividades que maximizan sus beneficios en mercados competitivos. La tecnología de producción, en su versión más simple, se resume en la Figura 2.2. En primer lugar, se combinan valor agregado e insumos intermedios en proporciones fijas. El valor agregado, a su vez, se genera mediante la combinación de factores primarios de producción (trabajo, capital y – dependiendo del sector– recursos naturales). Por su parte, los insumos intermedios pueden provenir de la oferta nacional o del resto del mundo (importaciones) (ver más abajo). Las actividades pueden producir uno o más productos en proporciones fijas. A su vez, cada producto puede ser producido por más de una actividad. La producción total de cada bien o servicio puede destinarse al mercado interno o exportarse al resto del mundo. En su versión más sofisticada, la función de producción de IEEM permite que las actividades productivas determinen endógenamente las fuentes de energía que utilizan para producir.

*Figura 2.2: Función de producción*



Nota: CES = elasticidad de sustitución constante, y LEO = Leontief. Fuente: elaboración de los autores.

Típicamente, IEEM identifica como sectores institucionales a las familias/hogares, las empresas, el gobierno, y el resto del mundo. Los hogares obtienen su ingreso de los factores productivos que poseen, como así también de las transferencias que reciben de las demás instituciones incluidas en el modelo. Los hogares destinan su ingreso a comprar los bienes y servicios que consumen, ahorrar, pagar impuestos directos y realizar transferencias a las demás instituciones.

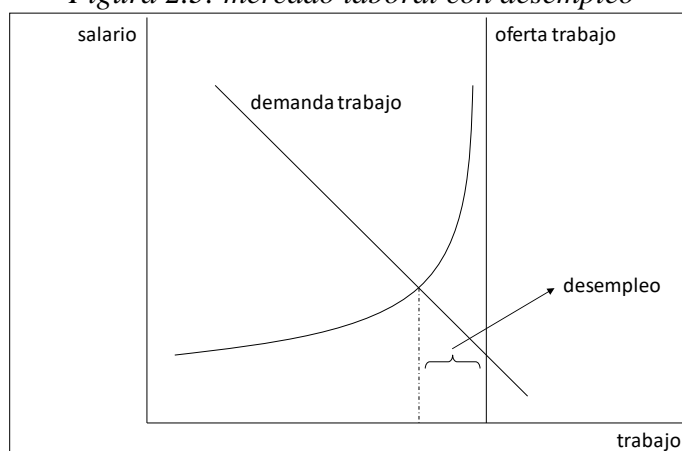
El gobierno recibe la recaudación tributaria al mismo tiempo que consume/provee bienes y servicios, realiza transferencias a los hogares y (des)ahorra. El resto del mundo demanda exportaciones y ofrece importaciones. El modelo permite identificar ocho tipos de impuestos (i.e., al ingreso de los hogares, a las actividades, al consumo, al valor agregado, a las exportaciones, a las importaciones, al ingreso factorial, y a la utilización de factores de producción por parte de las actividades productivas). Por su parte, los márgenes de comercialización y transporte se modelan de manera explícita, suponiendo que se necesitan los servicios correspondientes en proporciones fijas para mover un bien desde el productor hacia el consumidor.

En términos del comercio exterior, se supone que los bienes y servicios se diferencian según el país de origen (Armington, 1969). Así, puede modelarse el comercio en dos direcciones (i.e., el mismo bien o servicio se importa y exporta simultáneamente). La combinación de productos

nacionales e importados se realiza en la frontera del país modelado. Es decir, la composición nacional/importado del consumo es la misma independientemente de cuál sea el destino de los productos (por ejemplo, consumo intermedio versus consumo final). El supuesto de sustitución imperfecta entre importaciones y compras nacionales se implementa con una función de tipo de CES. Por el lado de la producción, se realiza un supuesto simétrico: las exportaciones son un sustituto imperfecto de las ventas al mercado interno – la transformación imperfecta se implementa mediante una función de tipo CET (Elasticidad de Transformación Constante). Además, Costa Rica se modela como un país pequeño, por lo que toma como dados los precios internacionales de los productos que comercia con el resto del mundo.

En el mercado laboral se supone que existe desempleo generado por una curva de salarios (Figura 2.3), que establece una relación negativa entre nivel de salarios y tasa de desempleo (ver Blanchflower and Oswald, 2005, 1994). En todos los casos, el trabajo es perfectamente móvil entre sectores. Por su parte, el capital, una vez instalado, es inmóvil entre sectores.

*Figura 2.3: mercado laboral con desempleo*



Fuente: elaboración de los autores.

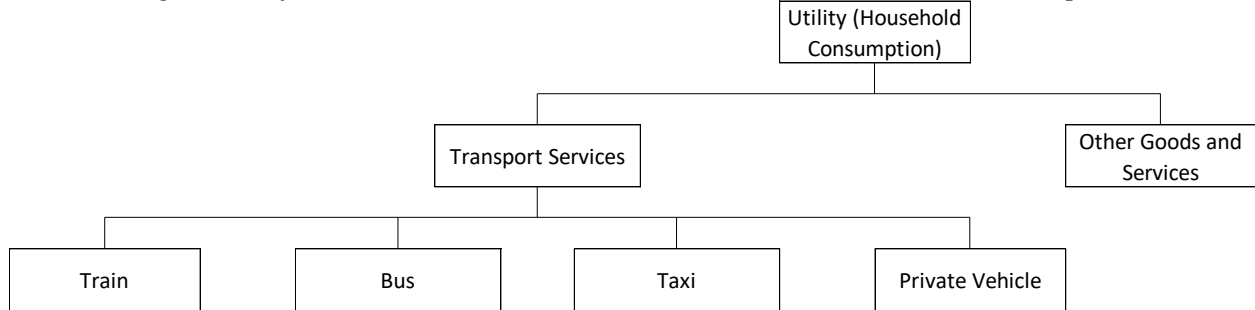
IEEM es dinámico recursivo; es decir, se supone que los agentes económicos son miopes por lo que sus expectativas son estacionarias. En consecuencia, los agentes económicos esperan que los precios futuros sean idénticos a los precios del período presente. Las fuentes de dinámica son cuatro: acumulación de capital, crecimiento de la fuerza laboral, crecimiento de la oferta de recursos naturales, e incrementos en la productividad factorial. Al iniciar cada período, se

modifican los stocks de capital sectoriales en base a la inversión del período anterior. Por su parte, las dotaciones de los demás factores productivos crecen de forma exógena. La inversión y los stocks de capital de cada período se diferencian entre públicos y privados. Por tratarse de un modelo dinámico recursivo, la solución del modelo implica resolver una sucesión de modelos estáticos conectados por cambios en las dotaciones factoriales.

En general, el análisis de EGC no permite la obtención de resultados distributivos con suficiente nivel de desagregación. En consecuencia, IEEM se complementa con un modelo de micro-simulación para estimar los efectos sobre pobreza y desigualdad. En particular, los resultados que arroja IEEM para el ingreso per cápita de cada uno de los hogares representativos que identifica la MCS se utilizan para modificar el ingreso per cápita familiar de cada uno de los hogares que registra la ENAHO 2019, última encuesta de hogares disponible para el análisis distributivo de Costa Rica al momento de la elaboración del modelo.

IEEM-CRI supone que los hogares pueden elegir entre medios de transporte alternativos. Para ello, la función de utilidad estándar se reemplaza por la que aparece en la Figura 2.4. (En el caso estándar, todos los bienes y servicios se consideran de manera simétrica.) En primer lugar, los hogares determinan las cantidades que consumen de servicios de transporte y otros productos; esta decisión se modela con una función de utilidad tipo Stone-Geary, de la que se deriva un sistema de gasto lineal. En segundo lugar, los hogares eligen el volumen en que utilizan los medios de transporte alternativos; en este caso, empleamos una función CES para modelar la sustitución imperfecta entre medios de transporte. Naturalmente, la elasticidad de sustitución entre medios de transporte es un parámetro clave para explicar los resultados que presentamos en la Sección 3.

Figura 2.4: función de utilidad; modelado demanda de servicios de transporte



Fuente: elaboración de los autores.

En este trabajo, IEEM se alimenta con los resultados generados por Godínez-Zamora (2020) mediante el Open Source energy MOdelling SYStem (OSeMOSYS).<sup>2</sup> El modelo OSeMOSYS se utilizó para determinar cuáles son los cambios necesarios en el sistema de transporte de Costa Rica que permitirían alcanzar la meta del PdD al mismo tiempo que se minimiza el costo de hacerlo. En la optimización, OSeMOSYS considera las distintas tecnologías disponibles para (a) el transporte tanto de carga como de pasajeros, y (b) la generación de electricidad a partir de fuentes renovables. En este estudio, la forma en que OSeMOSYS y IEEM se comunican puede describirse como un “soft-link”. En la práctica, los resultados de OSeMOSYS se utilizan para diseñar escenarios en IEEM.

## 2.2. La Base de Datos de IEEM

El principal componente de la base de datos de IEEM Costa Rica es la Matriz de Contabilidad Social (MCS) 2016 que se describe en (Banerjee and Cicowiez, 2020). En este trabajo, las 136 actividades y los 183 productos que identifica el Cuadro de Oferta y utilización (COU) 2016 de Costa Rica se agregaron a los 39 y 43 que se muestran en la Tabla 2.1, respectivamente. Las actividades económicas asociadas con el transporte se mantienen con la máxima desagregación posible que permiten las cuentas nacionales. Por su parte, los hogares se desagregan en 16 categorías de acuerdo con su ubicación (i.e., urbana/rural) y su principal fuente de ingreso (i.e., trabajo según calificación, capital, remesas, y tres tipos de transferencias).

<sup>2</sup> La implementación para Costa Rica se documenta extensamente en <https://github.com/EPERLab/OSeMOSYS-CR>. El modelo OSeMOSYS también se documenta en <https://osemosys.readthedocs.io/en/latest/>.

En Banerjee and Cicowiez (2020) pueden consultarse varios indicadores que resumen la estructura productiva costarricense tal como aparece capturada en la MCS de Costa Rica 2016. Así, en lo que resta de esta sección nos concentramos en describir otros aspectos de la base de datos de IEEM-CRI. Por ejemplo, la Figura 2.5 muestra (a) la proporción de las emisiones totales que genera cada uno de los usuarios de productos energéticos<sup>3</sup>, y; (b) la proporción de las emisiones totales que genera cada uno de los productos energéticos. Como vemos, los hogares y la actividad de transporte en su conjunto son fuentes importantes de emisiones de CO<sub>2</sub> (panel a). Por su parte, el diésel y la gasolina son los productos que explican la mayor parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> (panel b). La Figura 2.6 muestra el destino de la oferta de productos energéticos. Por ejemplo, 54 por ciento de la oferta de diésel es utilizada por las actividades que proveen servicios de transporte tanto de carga como de pasajeros. Así, el 46 por ciento restante es utilizado por otros sectores productivos; en este caso, no conocemos el uso específico que reciben las compras intermedias de productos energéticos – por ejemplo, transporte vs. máquinas cosechadoras en producciones agrícolas. En los casos de la gasolina, el diésel y el bunker, vemos que en el año base del modelo se redujeron los stocks acumulados en períodos anteriores. En particular, fue relativamente importante la variación de las existencias de bunker.

Por otro lado, es relevante mencionar que existe una capacidad ociosa importante en la generación de electricidad. En particular, según estimaciones de CEPAL (2019), existe una capacidad ociosa del 50 por ciento en la generación de energía eléctrica. En consecuencia, en las simulaciones que presentamos a continuación, una parte importante de los incrementos de la demanda de electricidad pueden absorberse con relativa facilidad; es decir, sin aumentos sustanciales en el precio de la generación eléctrica.

---

<sup>3</sup> En este sentido, cabe recordar que IEEM-Costa Rica actualmente solo considera las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas al uso de productos energéticos.

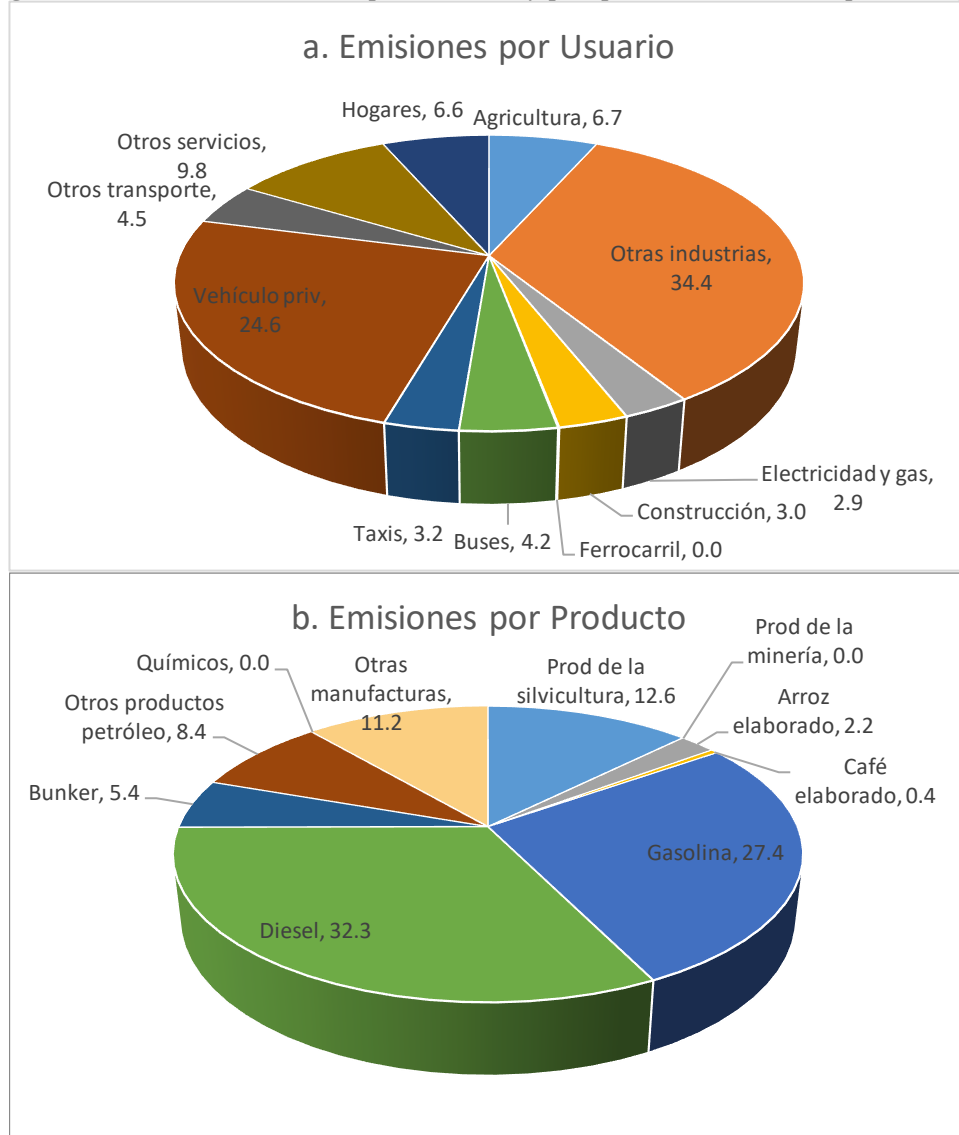


*Tabla 2.1: cuentas de la matriz de contabilidad social de Costa Rica, año base de 2016.*

Item	Item -- cont.	Item -- cont.
<b>Act (39) y Prod (43)</b>	Transporte mar y aire pasajeros	Impuesto productos
Arroz	Transporte otros	Subsidio productos
Otros agricultura	Hoteles y restaurantes	Impuesto directo
Banano	Telecomunicaciones	<b>Intituciones (22)</b>
Piña	Svc profesionales	Hog rurales - trab calificación baja
Café en fruta	Svc financieros	Hog rurales - trab calificación media
Silvicultura	Administración pública	Hog rurales - trab calificación alta
Pesca	Educación	Hog rurales - capital
Minería	Salud	Hog rurales - remesas
Arroz elaborado	Otros servicios	Hog rurales - transferencias seg social
Alimentos	Svc domésticos	Hog rurales - transferencias gobierno
Café elaborado	<b>Márgenes Distribución (3)</b>	Hog rurales - transferencias ISFLSH
Bebidas y tabaco	Margen dist, prod nacionales	Hog urbanos - trab calificación baja
Textiles y cuero	Margen dist, importaciones	Hog urbanos - trab calificación media
Gasolina	Margen dist, exportaciones	Hog urbanos - trab calificación alta
Diesel	<b>Factores (9)</b>	Hog urbanos - capital
Bunker	Trabajo calificación baja	Hog urbanos - remesas
Otrs productos petróleo	Trabajo calificación media	Hog urbanos - transferencias seg social
Químicos	Trabajo calificación alta	Hog urbanos - transferencias gobierno
Plástico y caucho	Capital privado	Hog urbanos - transferencias ISFLSH
Prod minerales no met	Capital público	ISFLSH
Prod metálicos	Tierra	Empresas
Maquinaria y equipo	Recurso Natural, Silvicultura	Gobierno, seguridad social
Vehículos	Recurso Natural, Pesca	Gobierno
Otras manufacturas	Recurso Natural, Minería	Resto del mundo
Electricidad y gas	<b>Impuestos (10)</b>	Turistas internacionales
Agua	Cont seg social trab calificación baja	<b>Ahorro-Inversión (6)</b>
Construcción	Cont seg social trab calificación media	Cuenta cap, inst nacinoales no gobierno
Comercio	Cont seg social trab calificación alta	Cuenta cap, Gobierno
Transporte ferrocarril	Impuesto actividades	Cuenta cap, Resto del mundo
Transporte tierra pasajeros	Impuesto al valor agregado	Inversión no gobierno
Transporte taxis	Impuesto importaciones	Inversión gobierno
Transporte carga	Impuesto exportaciones	Variación existencias

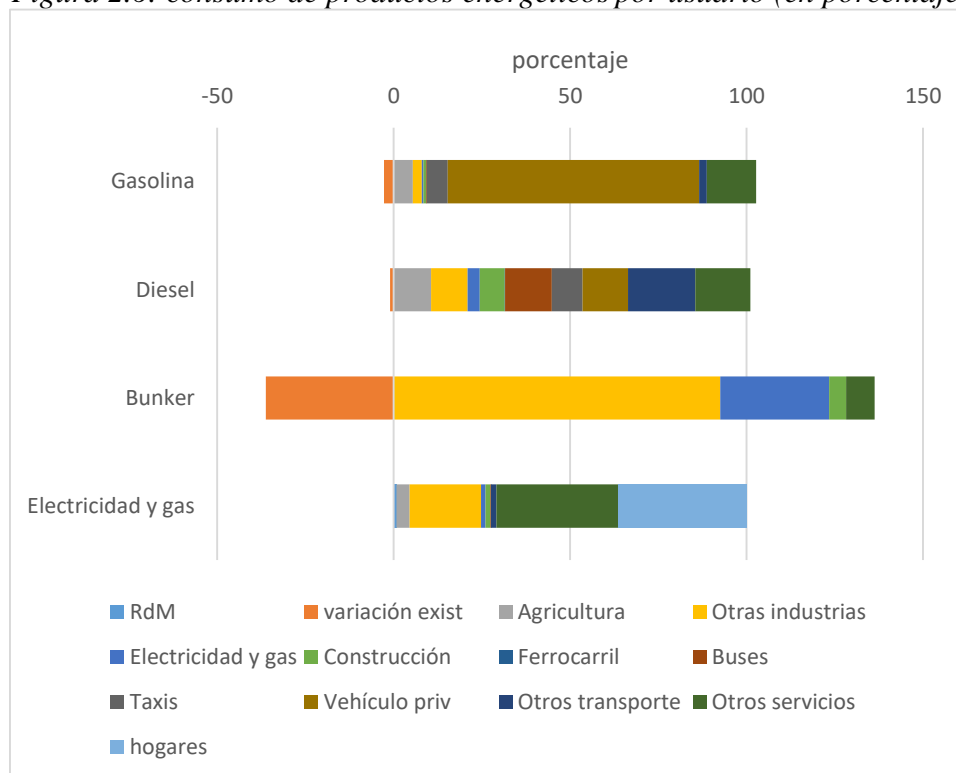
Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 2.5: emisiones de CO<sub>2</sub> por usuario y por producto 2016 (en porcentaje)



Fuente: Elaboración de los autores.

*Figura 2.6: consumo de productos energéticos por usuario (en porcentaje)*



Fuente: Elaboración de los autores.

En la calibración de IEEM-CRI, se emplean, además de la MCS, elasticidades de oferta y demanda que, en su mayoría, fueron obtenidas a partir de una revisión de la literatura (ver Tabla A.1). La elasticidad de sustitución entre factores primarios de producción varía desde 0.2 para los sectores extractivos hasta 0.95 para servicios como construcción, comercio y transporte (Aguilar et al., 2019). En consecuencia, se supone que los sectores agrícolas y extractivos (i.e., las actividades intensivas en el uso de capital natural) no pueden incrementar fácilmente su producción sin incrementos en las dotaciones de tierra y recursos naturales, respectivamente. En base a la literatura disponible para países en desarrollo (Sadoulet and de Janvry, 1995), las elasticidades de sustitución entre importaciones y compras nacionales toman los siguientes valores: 2 para productos primarios, 1.5 para manufacturas, y 0.8 para otras industrias y servicios. En este caso, un valor inferior a la unidad implica que existe cierta complementariedad entre productos nacionales e importados. Las elasticidades de transformación entre exportaciones y ventas nacionales se suponen iguales a las elasticidades de sustitución entre importaciones y compras nacionales.

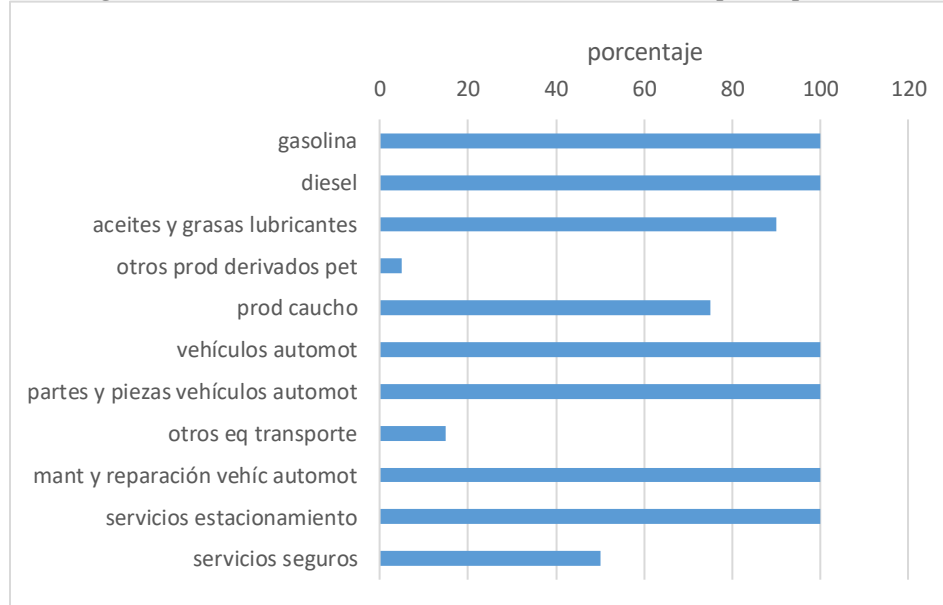
Por el lado del consumo, el modelo supone que las preferencias de los consumidores son de tipo Stone-Geary, de las que se deriva un sistema de gasto lineal. Las elasticidades-ingreso para Costa Rica se obtuvieron del trabajo econométrico de (Sanchez, 2004) con estimaciones relativamente bajas para los productos alimenticios y textiles. El parámetro de Frisch (Dervis et al., 1982) se estimó en el rango -3.6 a -1.8 dependiendo del nivel de ingreso per cápita del hogar representativo. La elasticidad del salario con respecto a la tasa de desempleo de la curva de salarios se fijó en -0.1 para las tres categorías de trabajo consideradas (i.e., calificación baja, media o alta), consistente con las estimaciones reportadas en Blanchflower and Oswald (2005) para una gran cantidad de países. En cualquier caso, dada la incertidumbre que puede existir respecto del valor que toman las elasticidades de oferta y demanda, se evalúa la sensibilidad de los resultados a cambios en estos valores.

La calibración del sistema de demanda descrito en la Figura 2.4 requirió de ajustes en la MCS documentada en (Banerjee and Cicowiez, 2020). En particular, agregamos una actividad ficticia que provee servicios de transporte privado (i.e., automóvil particular) cuya producción es solo consumida por los hogares. La Figura 2.7 muestra la proporción del gasto de los hogares de cada producto que destina a la producción de servicio de transporte privado. Por ejemplo, suponemos que la demanda total de gasolina y diésel por parte de los hogares tiene como finalidad servir de combustible para los vehículos privados. Además, el derecho de circulación (también conocido como marchamo) se contabiliza como un impuesto que recae sobre la nueva actividad de transporte privado – originalmente, este impuesto se registra como un impuesto al ingreso/riqueza de los hogares.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> El derecho de circulación se distribuye entre el seguro obligatorio de automóviles, impuesto a la propiedad de vehículos, consejo de seguridad vial, timbres y otros impuestos.

*Figura 2.7: estructura de costos servicios de transporte privado*



Fuente: Elaboración de los autores.

### 2.3. Modelo de Microsimulación

IEEM-CRI se complementa con un modelo de microsimulación para obtener resultados en términos de pobreza y desigualdad. En pocas palabras, el modelo de microsimulación que utilizamos se alimenta con los resultados sobre consumo per cápita que genera IEEM para cada hogar representativo y los distribuye entre cada uno de los hogares que identifica la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2013. Es decir, si IEEM-CRI indica, para un determinado escenario, que el consumo per cápita de un hogar representativo se incrementa, lo mismo ocurrirá con todos los hogares de la ENIGH vinculados con ese hogar representativo. Además, se consideran los cambios en los precios de bienes y servicios para determinar el cambio en el gasto de consumo per cápita real de los hogares.

En general, cualquier tipo de choque que se simule con IEEM – u otro modelo de EGC – se transmite hacia el ingreso/consumo de los hogares principalmente a través de los mercados factoriales. Es decir, el efecto sobre el ingreso/consumo de los hogares representativos identificados en la MCS/IEEM es función de sus dotaciones factoriales. Por consiguiente, y relevante en nuestro caso, este modelo de microsimulación es particularmente útil cuando la MCS que se emplea para calibrar IEEM desagrega hogares según su principal fuente de ingreso. Como

veremos, los resultados reportan medidas de pobreza y desigualdad ampliamente utilizadas: tasas de pobreza moderada y extrema, y coeficiente de Gini.

### **3. Escenarios del Plan de Descarbonización**

#### **3.1. Escenario Base**

En primer lugar, presentamos la evolución de la economía de Costa Rica suponiendo que no se introducen políticas específicas de descarbonización. En otras palabras, se trata de un escenario de “business-as-usual” (BAU en la presentación de resultados) en el que suponemos que la evolución observada en los últimos años se mantiene durante todo el período 2020-2050. En cambio, para el período 2016-2019 se imponen las trayectorias observadas para los principales agregados macroeconómicos. En particular, la tasa de crecimiento del escenario base se muestra en la Figura 3.1. La proyección de crecimiento del PIB para 2019-2024 se obtuvo del World Economic Outlook de octubre de 2019 del Fondo Monetario Internacional; para 2025-2050 suponemos que se mantiene la tasa de crecimiento proyectada para 2024. En promedio, el PIB de Costa Rica crece al 3.5 por ciento para el período 2019-2050.

Así, con el objetivo de guardar consistencia con el modelo OSeMOSYS utilizado para determinar los cambios que deben adoptarse para cumplir con las metas del PdD, el escenario base ignora los efectos negativos que el COVID-19 tuvo en la tasa de crecimiento de la economía de Costa Rica en 2020. En el escenario base, y sólo en el escenario de base, la Productividad Total de los Factores (PTF) se modifica endógenamente para imponer la evolución que se muestra en la Figura 3.2. En los demás escenarios, el componente exógeno de la PTF se mantiene constante en los valores calibrados para la elaboración del escenario de referencia. Las proyecciones de población se obtuvieron del World Population Prospects 2019 que elabora las Naciones Unidas (United Nations et al., 2019). La población económicamente activa crece a la misma tasa que la población en edad de trabajar. Por su parte, la oferta de tierra agrícola se mantiene constante mientras que la oferta (i.e., extracción) de otros capitales naturales sigue la tasa de crecimiento del PIB. Finalmente, la evolución del stock de capital es una función de la inversión, tanto pública como privada.

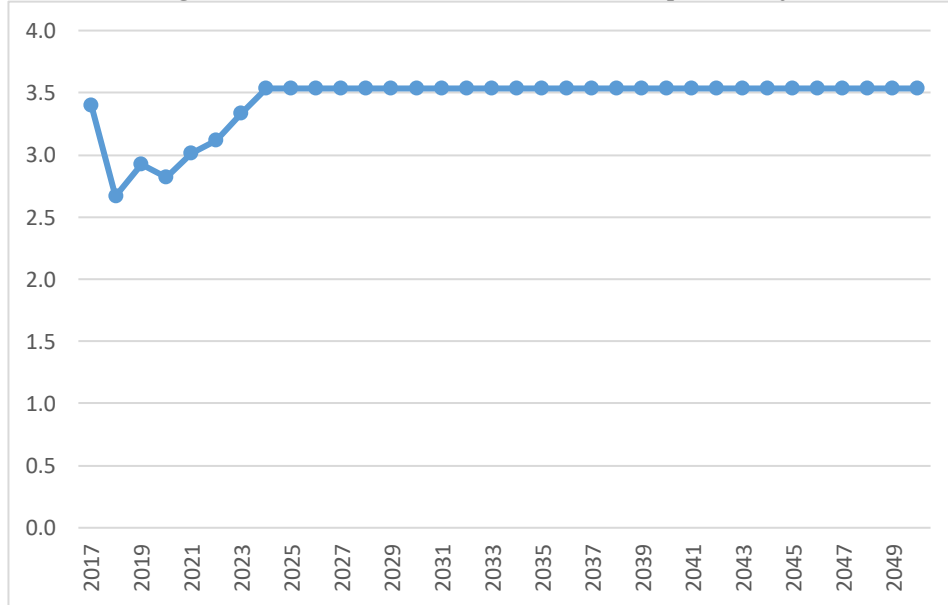
El escenario de referencia se simula bajo los siguientes supuestos. Para el gobierno, tanto sus ingresos como sus gastos evolucionan como una proporción exógena del PIB igual a la registrada en 2016.<sup>5</sup> Sin embargo, la tasa (efectiva) del impuesto directo se determina endógenamente a fin de igualar gastos e ingresos del gobierno. El saldo de la cuenta corriente de la balanza de pagos se supone exógeno por lo que entradas y salidas de divisas se equilibran mediante variaciones del tipo de cambio real; los demás componentes de la balanza de pagos evolucionan como una proporción constante del PIB también igual a la registrada en 2016. Así, evitamos situaciones en las que Costa Rica puede endeudarse indefinidamente para financiar sus importaciones. Es decir, el tipo de cambio real flexible hace que las simulaciones sean consistentes con un horizonte de mediano/largo plazo. Por último, se supone que la inversión privada también es una proporción constante del PIB. A su vez, las tasas de ahorro de los hogares se ajustan endógenamente para igualar ahorro e inversión privados. En conjunto, los supuestos descritos en este párrafo se conocen como “regla de cierre macroeconómico” del modelo.

En las simulaciones de descarbonización, en cambio, se modifican algunos de los supuestos descritos en el párrafo anterior. En particular, todos los componentes del presupuesto del gobierno y de la balanza de pagos que se suponían una proporción constante del PIB, pasan a suponerse constantes en términos reales. En consecuencia, en todos los escenarios, el gobierno provee la misma cantidad de bienes y servicios que en el escenario base. Por su parte, la inversión privada pasa a ajustarse endógenamente para igualarse con el ahorro, tanto privado como del resto del mundo. Como veremos, el análisis de los escenarios de descarbonización se concentra en el período 2020-2050. Es decir, para el período 2016-2019 todos los escenarios son idénticos.

---

<sup>5</sup> Con la aprobación de la Ley 9635 a finales del 2018, se introdujo una regla fiscal para contener el crecimiento del gasto del gobierno. Por lo tanto, la evolución de ingresos y gastos del gobierno podría variar en función de la trayectoria que siga la relación de deuda a PIB.

*Figura 3.1: tasa de crecimiento PIB (en porcentaje)*



Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados que genera el IEEM-CRI para el escenario base se muestran en las Figuras 3.2-3.7, que cubren resultados macro y meso económicos donde los resultados macro se aplican a indicadores al nivel nacional y los resultados meso se aplican al nivel sectorial. En términos generales, la economía crece de forma relativamente balanceada para todo el período de solución del modelo. Es decir, los agregados macroeconómicos crecen a tasas similares durante todo el escenario base. A nivel sectorial, en cambio, se genera un movimiento a favor de los sectores manufactureros y de servicios, dados los supuestos realizados para la calibración del modelo (e.g., evolución de la oferta de tierra, elasticidades, etc.), y de manera consistente con lo observado durante los últimos años.

La Figura 3.2 (paneles a y b) muestra la evolución de los niveles para los principales agregados macroeconómicos durante el período 2016-2050. La Figura 3.3 expone la misma información, pero en términos de tasas de crecimiento anual promedio para el período 2020-2050. Como vemos, todos los agregados macroeconómicos registran tasas de crecimiento en el rango 3.2-3.5 por ciento. Las tasas de crecimiento sectorial – para siete sectores agregados – se muestran en la Figura 3.4. Como dijimos, las tasas de crecimiento para sectores primarios como cultivos y ganadería son



inferiores al resto debido a que utilizan recursos naturales cuya oferta es inelástica.<sup>6</sup> (En el Apéndice A se muestran resultados con la máxima desagregación sectorial que permite IEEM-CRI). El crecimiento del nivel de actividad genera una caída de la tasa de subutilización (i.e., desempleo definido de manera amplia) del trabajo, que pasa de 19.9 por ciento en 2016 a 8.6 por ciento en 2050. Por su parte, la tasa de desempleo definida de manera más estricta pasa de 10 por ciento en 2016 a 4 por ciento en 2050.

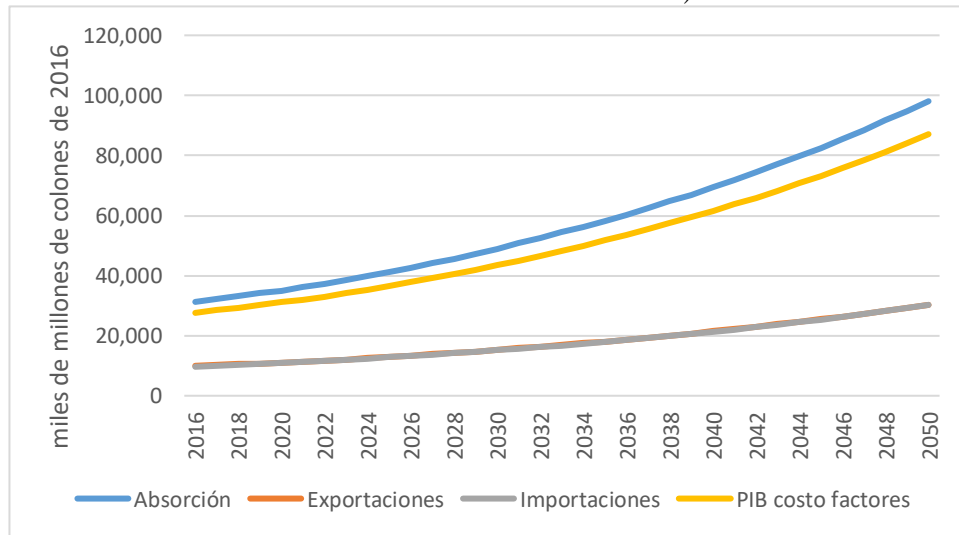
En el escenario base, las emisiones crecen, en promedio, al 3.3 por ciento anual para el período 2020-2050, algo por debajo del PIB (ver Figura 3.6). Es decir, el cambio en la estructura sectorial que se genera en el escenario base contribuye a un crecimiento de las emisiones vinculadas al uso de productos energéticos que se ubica por debajo del crecimiento del PIB. (Trivialmente, en ausencia de cambios en la estructura sectorial de la economía, las tasas de crecimiento de las emisiones y el PIB serían iguales.) En particular, entre 2016 y 2050 se reduce la participación de los agroalimentos en el PIB de Costa Rica en 1.8 puntos porcentuales. Al mismo tiempo, crecen las participaciones de otros servicios y otras industrias en 1.3 y 0.4 puntos porcentuales, respectivamente. Es importante mencionar que ninguno de los escenarios considerados en este trabajo incorpora algún tipo de incremento exógeno de la eficiencia energética – i.e., Autonomous Energy Efficiency Increases (AEEI) donde la intensidad de uso de energía se reduce a través del tiempo por razones no relacionadas al precio de energía (Kaufmann, 2004).

En términos de pobreza, el consumo per cápita de los hogares crece, en promedio, al 3 por ciento anual entre 2020 y 2050. Como consecuencia, la tasa de pobreza se reduce desde 22.9 hasta el 11.2 por ciento en 2035 y 5.5 en 2050. Implícitamente, la elasticidad-crecimiento de la pobreza para el período 2018-2035 es 0.86, un valor consistente con los valores observados para el quinquenio 2013-2018. Por su parte, la desigualdad medida por el coeficiente de Gini permanece virtualmente constante en 0.514-0.517 para todo el período 2020-2050.

---

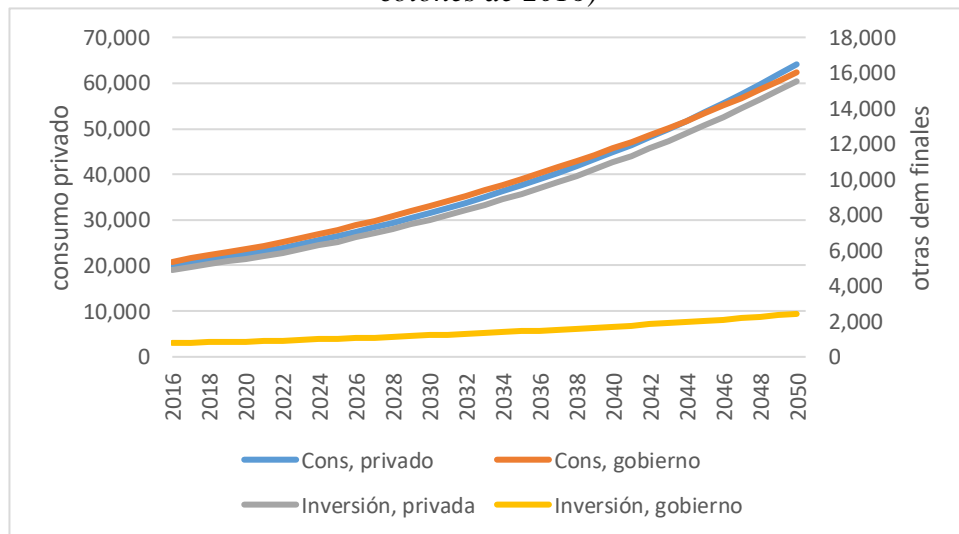
<sup>6</sup> En la Figura 3.4, agricultura se refiere a cultivos, ganadería, silvicultura y pesca.

*Figura 3.2a: evolución agregados macroeconómicos seleccionados en escenario base (en miles de millones de colones de 2016)*



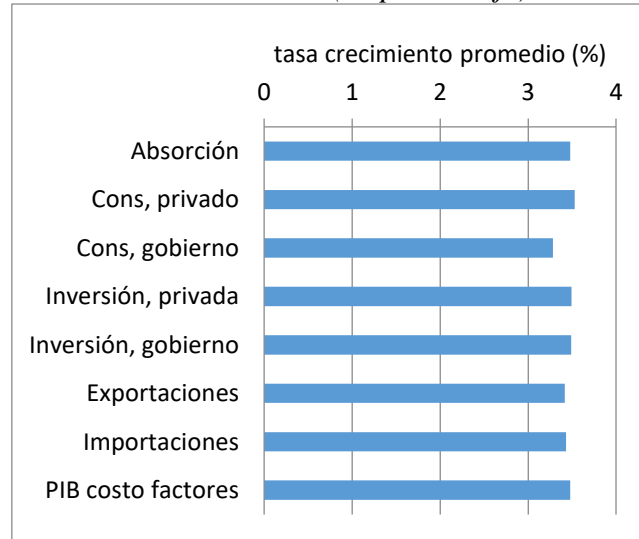
Fuente: Elaboración de los autores.

*Figura 3.2b: evolución componentes de la demanda en escenario base (en miles de millones de colones de 2016)*



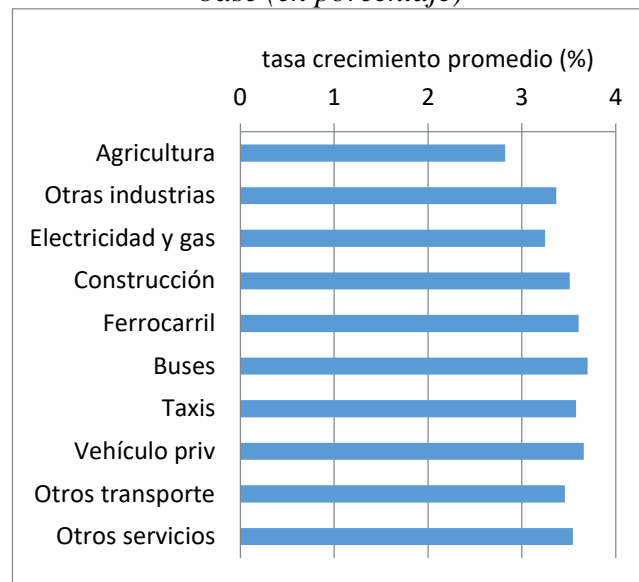
Fuente: Elaboración de los autores.

*Figura 3.3: tasa de crecimiento anual promedio 2020-2050 agregados macroeconómicos en escenario base (en porcentaje)*



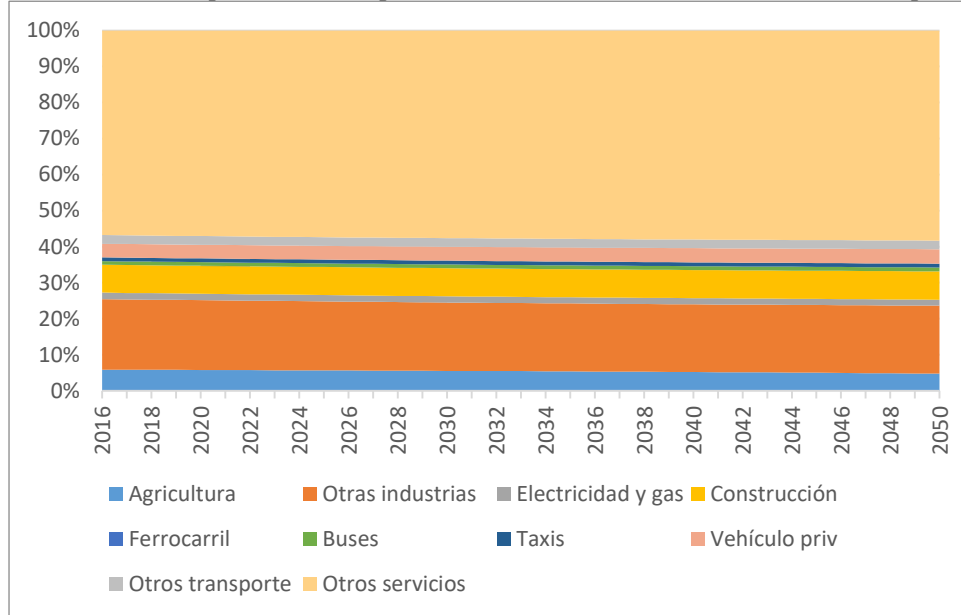
Fuente: Elaboración de los autores.

*Figura 3.4: tasa de crecimiento anual promedio 2020-2050 producción sectorial en escenario base (en porcentaje)*



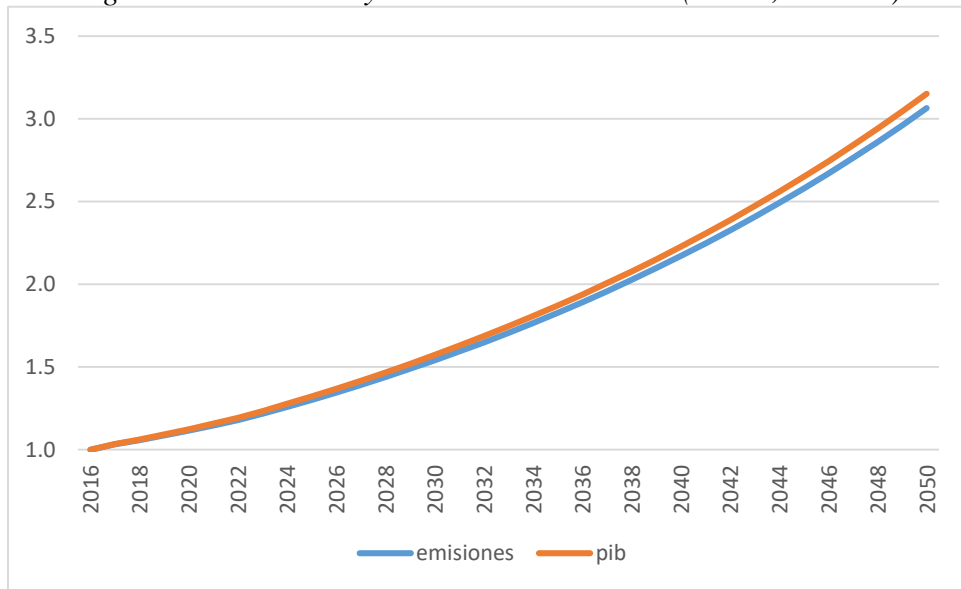
Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 3.5: estructura productiva a precios constantes en escenario base (en porcentaje)



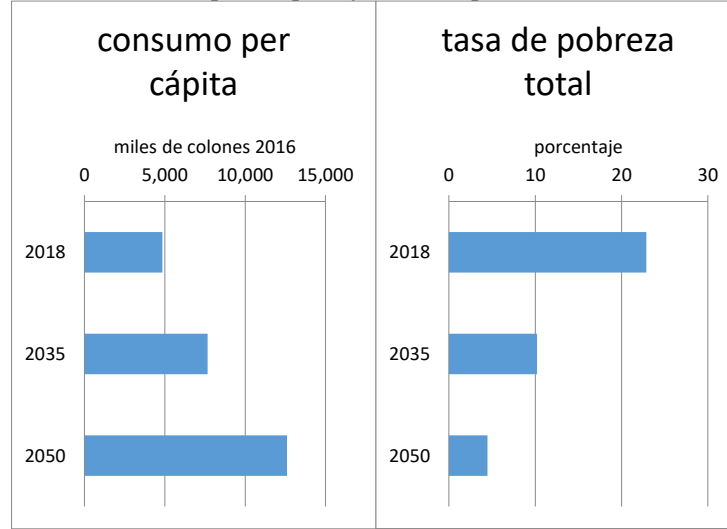
Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 3.6: emisiones y PIB en escenario base (índice; 2016=1)



Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 3.7: consumo per cápita y tasa de pobreza en escenario base



Fuente: Elaboración de los autores.

### 3.2. Escenarios de Descarbonización

En este apartado utilizamos IEEM para evaluar los efectos que tendrían los distintos componentes del Plan de Descarbonización de Costa Rica que fueron estimados a partir del modelo OSeMOSYS. En Godínez-Zamora et al., (2020), el modelo OSeMOSYS se utilizó para determinar la forma más costo-efectiva en la que Costa Rica debería modificar tanto su sector de transporte como así también de energía para cumplir con la meta de cero emisiones netas en 2050 contenida en el PdD. En esta sección, utilizamos IEEM para determinar los efectos económicos que tendrían los distintos componentes del PdD estimados por dichos autores. Naturalmente, la forma en que ambos modelos se combinan en este trabajo tiene ciertas inconsistencias. Por ejemplo, si las inversiones requeridas por el PdD se financian mediante aumentos de la presión tributaria, es esperable que las proyecciones de crecimiento utilizadas para generar los resultados de OSeMOSYS pierdan validez. Sin embargo, la estimación que aquí realizamos es un primer paso hacia la integración de los modelos OSeMOSYS y IEEM.

En IEEM, cualquier medida de política que contribuya a la descarbonización de la economía costarricense se verá reflejada en las ecuaciones (1)-(3) a continuación. Las ecuaciones (1) y (2) calculan el monto de emisiones de GEI asociadas al consumo del producto  $c$  por parte de las actividades y hogares, respectivamente. El coeficiente  $iem_{ghg,ac,d,t}$  mide el monto emitido por

utilizar el producto c o el factor f – ambos incluidos en ac -- por parte de las actividades o los hogares – ambos incluidos en d. La ecuación (3) hace referencia a las emisiones que se asocian con el empleo de algún factor productivo como, por ejemplo, el stock ganadero.<sup>7</sup> Naturalmente, a partir de las ecuaciones (1)-(3) pueden computarse diversos indicadores como, por ejemplo, el volumen total de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, el volumen de emisiones puede emplearse como base imponible de un impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub> (ver abajo).

$EMI_{ghg,c,a,t} = iemi_{ghg,c,a,t} \cdot QINT_{c,a,t}$	(1)
$EMI_{ghg,c,h,t} = iemi_{ghg,c,h,t} \cdot QH_{c,h,t}$	(2)
$EMI_{ghg,f,a,t} = iemi_{ghg,f,a,t} \cdot QF_{f,a,t}$	(3)

donde

ghg = gases de efecto invernadero (solamente el CO<sub>2</sub> en el caso de Costa Rica)

c = productos

a = actividades

h = hogares

f = factores

t = tiempo

iemi = coeficientes de emisión

EMI = volumen emisiones en unidades de CO<sub>2</sub>

QINT = consumo intermedio

QH = consumo de los hogares

QF = demanda factorial

En base a las ecuaciones (1)-(3), hay varias formas en las que pueden generarse escenarios de descarbonización; por ejemplo: cambios en la estructura productiva, cambios en la utilización de productos o factores energéticos, cambios en las emisiones por unidad utilizada de productos o

---

<sup>7</sup> Sin embargo, en el caso de IEEM-CRI, no consideramos emisiones asociadas al empleo de factores de productivos.

factores contaminantes. Naturalmente, los escenarios de descarbonización a definir deben determinar cuál es el instrumento de política que genera cualquiera de los cambios mencionados.

En resumen, los escenarios que describimos a continuación tienen dos grandes objetivos. Por un lado, sustituir el uso del transporte privado por el transporte público. Por otro lado, sustituir combustibles fósiles por renovables. Los escenarios que simulamos con IEEM tienen por objetivo evaluar cada uno de los componentes del escenario PdD generado con OSeMOSYS. En particular, se consideran los siguientes escenarios:

- **ELETRNSPASS:** sustitución de combustibles fósiles (i.e., gasolina y diésel) por electricidad en la provisión de servicios de transporte público de pasajeros para el período 2021-2050. El choque se introduce de acuerdo con los resultados de OSeMOSYS que se muestran en la Figura 3.8a. El escenario supone que, en 2050, casi 85 por ciento de los vehículos utilizados para el transporte público de pasajeros es eléctrico. El escenario incluye buses y microbuses. En otras palabras, este escenario impone la reestructuración del sector de transporte público para hacerlo compatible con las proyecciones generadas por el modelo descrito en Godínez-Zamora et al. (2020). En particular, para los sectores transporte por tierra de pasajeros, se impone una reducción de los coeficientes insumo-producto de refinados de petróleo combinado con un aumento del coeficiente insumo-producto de la electricidad. Además, el coeficiente insumo-producto de la electricidad se incrementa teniendo en cuenta las ganancias de eficiencia que se generan al reemplazar combustibles fósiles por electricidad; i.e., permite obtener más energía a menor costo (ver Figura 3.9). Técnicamente, el volumen de terajoules que utiliza el sector de transporte por tierra de pasajeros se ajusta de acuerdo a los resultados de OSeMOSYS.
- **ELETAXI:** sustitución de combustibles fósiles (i.e., gasolina y diésel) por electricidad en taxis. La definición de este escenario es similar al anterior. La proporción de taxis eléctricos en 2050 llega casi al 85 por ciento, 69 puntos porcentuales más elevadas que la predicción de OSeMOSYS para el escenario base (Figura 3.8b).
- **ELETRNSPRV:** sustitución de combustibles fósiles (i.e., gasolina y diésel) por electricidad en el transporte privado (i.e., hogares) para el período 2021-2050. En principio, este escenario podría interpretarse como resultante de un cambio de preferencias a favor de los automóviles eléctricos. El choque se introduce de acuerdo a los resultados de OSeMOSYS que se muestran

en la Figura 3.8c. El escenario supone que, en 2050, 94 por ciento de los vehículos privados es eléctrico. Además, el escenario tiene en cuenta que los factores de eficiencia mejoran cuando se reemplazan combustibles fósiles por electricidad.

- **ELEFREIGHT:** sustitución de combustibles fósiles por electricidad en el transporte de carga para el período 2021-2050. En este escenario solo se incluyen las actividades que prestan servicios de transporte de carga. El escenario reemplaza los combustibles fósiles utilizados para transporte de carga por electricidad de acuerdo con los resultados del modelo OSeMOSYS (ver Figura 3.8d). La definición del escenario también incorpora los cambios en los parámetros de eficiencia vinculados al cambio de combustibles fósiles por electricidad.
- **ELETRNSA:** sustitución de combustibles fósiles (i.e., gasolina y diésel) por electricidad en el uso de medios de transporte por parte de las actividades productivas excepto las actividades de transporte de carga para el período 2021-2050. Es decir, se simula la electrificación de los vehículos que utilizan todas las actividades productivas excepto aquellas dedicadas al transporte de carga. La adopción de vehículos eléctricos sigue la misma tendencia que la descrita para el caso del transporte de carga.
- **COSTVEHIC:** incremento en el costo de importación de vehículos para reflejar la sustitución de vehículos con motores de combustión interna a vehículos eléctricos o híbridos. En este escenario, de acuerdo con las estimaciones de OSeMOSYS, suponemos que el costo de los vehículos eléctricos o híbridos es, en promedio para 2021-2050, 4.5 por ciento superior al costo de los vehículos que actualmente se importan en Costa Rica. El aumento en el costo de los vehículos importados se pondera por la participación de los distintos tipos de vehículos, también de acuerdo con las estimaciones de OSeMOSYS (ver Figura 3.10; la Figura 3.11 muestra la misma información para los buses de pasajeros). Por construcción, este escenario debe ser consistente con los cinco anteriores en los que se incrementa la participación de vehículos eléctricos en la flota total. El incremento del costo de los vehículos se modela de la siguiente forma: por un lado, los hogares lo absorben directamente porque los automóviles son un insumo para la producción de servicios de transporte privado (ver Sección 2); por otro lado, los sectores productivos absorben el costo más elevado de los vehículos como un aumento del costo de capital. De hecho, en IEEM (y en las Cuentas Nacionales), la compra de vehículos por parte de las actividades se considera una inversión. Por lo tanto, el aumento del precio de



los vehículos importados encarece el bien de capital en Costa Rica. Es interesante mencionar que las estimaciones de OSeMOSYS tienen en cuenta que, en el mediano y largo plazo, el diferencial de costo de los vehículos eléctricos respecto de su contraparte con motores de combustión interna se reduciría, lo cual sigue proyecciones internacionales según la agencia internacional de energía.

- **COSTINFRA**: incremento de la inversión en la infraestructura necesaria para la electrificación del transporte durante el período 2021-2050; por ejemplo, construcción de estaciones de carga de vehículos eléctricos, instalación de nuevas plantas de generación eléctrica, compra de trenes eléctricos, entre otros.<sup>8</sup> El monto de la inversión adicional en la infraestructura eléctrica que se requeriría para habilitar la electrificación del sector transporte fue estimado por OSeMOSYS en 13,515 de millones de dólares, equivalente a 24 por ciento del PIB del año base del modelo (ver Figura 3.12). Sin embargo, en este escenario suponemos que la inversión se determina de forma endógena en IEEM a fin de satisfacer la demanda energética del país que, en IEEM, también es endógena. El escenario supone que la inversión adicional en el sector eléctrico se financia mediante endeudamiento externo. Por otro lado, es interesante mencionar que las estimaciones de OSeMOSYS muestran que las ganancias en términos de costos de operación son equivalentes a 60,196 millones de dólares. En otras palabras, los costos de operación del sector energético son, en 2050, 80 por ciento inferiores a los registrados en el escenario base. Las reducciones más importantes de costos operativos se observan en (a) transmisión de electricidad, (b) distribución de LPG, (c) distribución de gasolina, y (d) distribución de diésel. En este escenario, (a) y (b) se simulan como una reducción de los coeficientes insumo-producto de la actividad de transmisión de electricidad. En cambio, (c) y (d) se capturan al reducirse la utilización de combustibles fósiles. En otras palabras, **COSTINFRA** solo considera la reducción de costos de operación en la distribución de electricidad. La reducción de los costos de operación se introduce como una reducción de los costos de producción de la actividad que representa el sector energético de Costa Rica (i.e., reducción de coeficientes insumo producto).

---

<sup>8</sup> IEEM también permite incorporar un plan de inversión detallado en la generación eléctrica. Para ello, es necesario que la MCS identifique distintas actividades productivas dedicadas de generación eléctrica.

- **COMBI**: Este escenario combina todos los escenarios anteriores. Es decir, se simulan de manera conjunta los escenarios anteriores que suponen cambios exógenos en (a) la composición de productos energéticos que se utilizan para el transporte; (b) el precio de los vehículos que importa Costa Rica, (c) los costos asociados con el PdD. En resumen, el escenario **COMBI** contempla tanto costos como beneficios del Plan de Descarbonización.
- **COMBI+**: En este escenario, además los shocks incluidos en **COMBI**, también se consideran las externalidades positivas que genera del PdD de acuerdo con las estimaciones de OSeMOSYS (ver Figura 3.13). En particular, se consideran los efectos positivos de mejoras en la congestión vehicular, reducción de accidentes, y mejoras en los indicadores de salud. La valuación de estas externalidades se discute en Godínez-Zamora et al. (2020).<sup>9</sup> En ese escenario, nos limitamos a sumarlas a los efectos sobre bienestar que genera el PdD.

Además, estos escenarios incorporan las modificaciones en los modos de transporte contenidas en los resultados del modelo OSeMOSYS. Por ejemplo, sustitución del vehículo privado por el transporte público de pasajeros. Es importante destacar que estos escenarios tienen en cuenta la ganancia de eficiencia que implica reemplazar el transporte privado por el transporte público. En otras palabras, el número de pasajeros transportados por unidad de combustible es más elevado con el transporte público que en el transporte privado.<sup>10</sup>

En todos los escenarios, la oferta de electricidad se incrementa, de forma paulatina, para satisfacer la demanda. Sin embargo, IEEM-CRI supone, de acuerdo con información de CEPAL (2019), que existe 50 por ciento de capacidad ociosa en la generación de energía eléctrica. Además, en los primeros cinco escenarios, la inversión en infraestructura energética se financia con ahorro del sector privado; por ejemplo, desplazando inversiones en otros sectores. En cambio, el escenario **COMBI**, supone que toda la inversión destinada al sector eléctrico se financia con endeudamiento externo. Es decir, el PdD tal como está siendo simulado trae aparejado un efecto positivo como

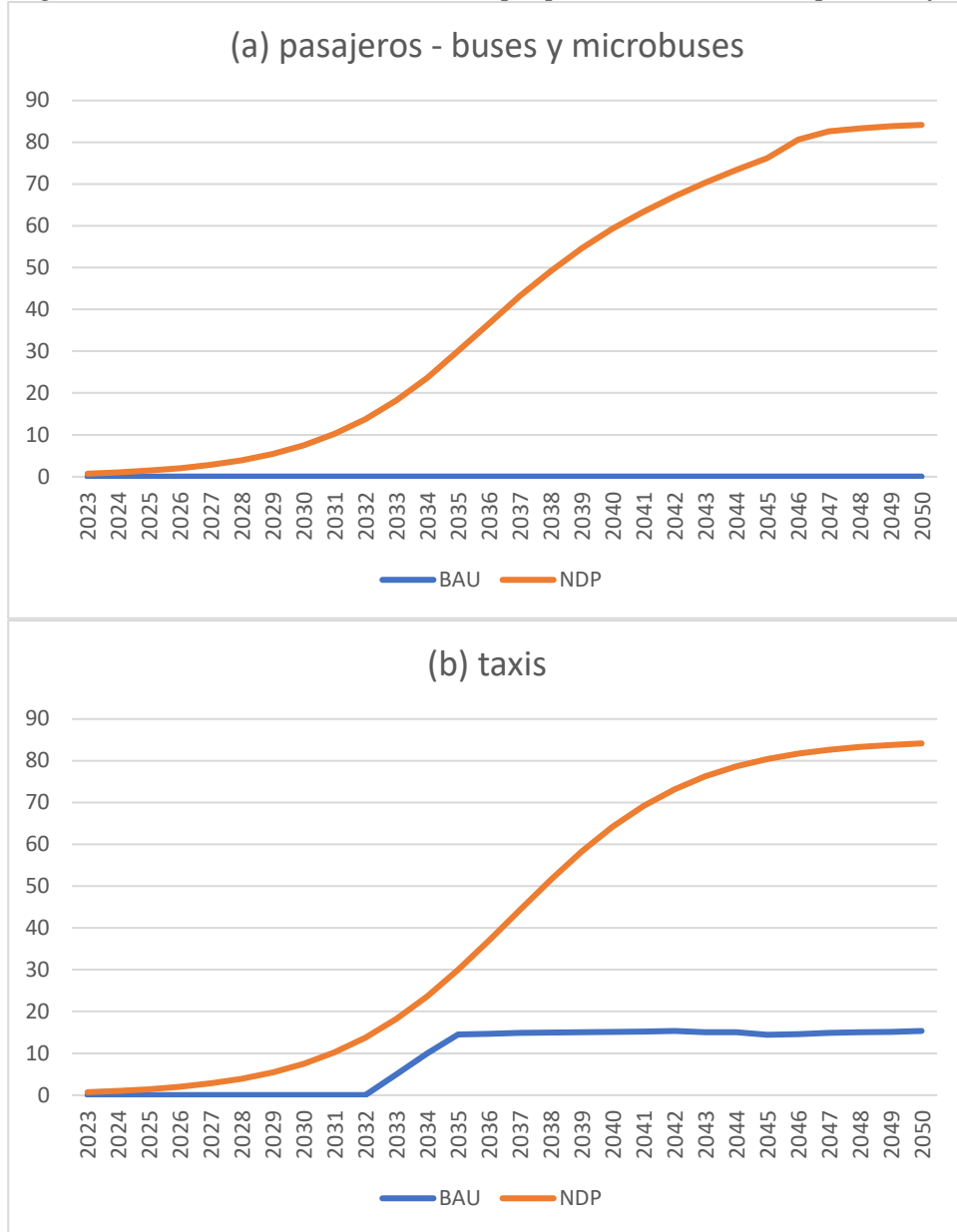
---

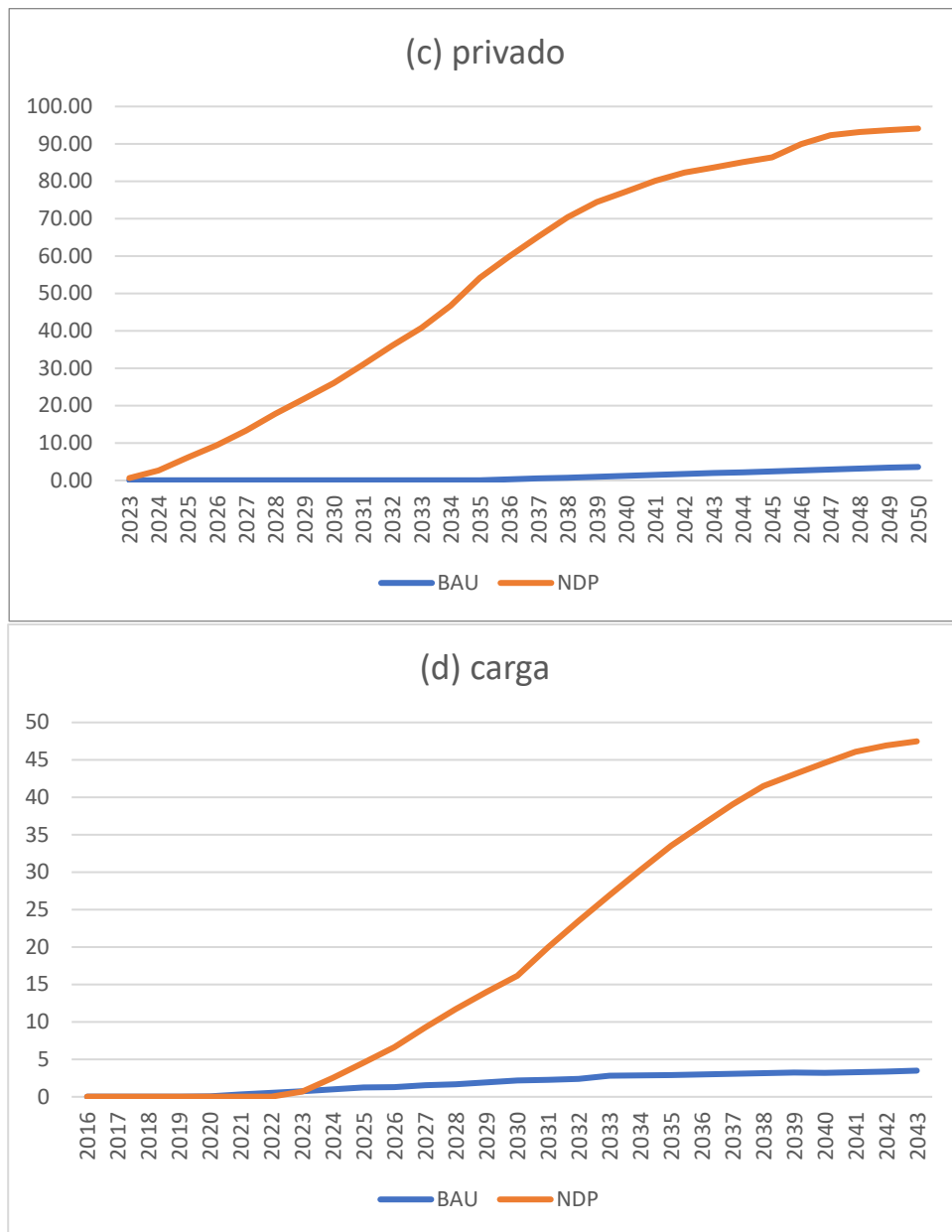
<sup>9</sup> Los autores obtienen estimaciones de Coady et al. (2019) sobre costos de la polución del aire por dólar que se gasta en combustibles fósiles en Costa Rica. Además, emplean fuentes oficiales de Costa Rica para valorar los efectos de (a) la reducción de accidentes, y (b) la reducción de la congestión vehicular.

<sup>10</sup> En la calibración del modelo, los precios implícitos por pasajero-kilómetro recorrido son 4.5 para buses, 76.3 para taxis, y 19 para vehículos particulares. Es decir, el costo por pasajero-kilómetro recorrido es considerablemente más bajo en el costo de los buses.

consecuencia del incremento del financiamiento externo. Naturalmente, los efectos del escenario COMBI son marcadamente diferentes cuando la inversión en el sector energético se financia con recursos internos.

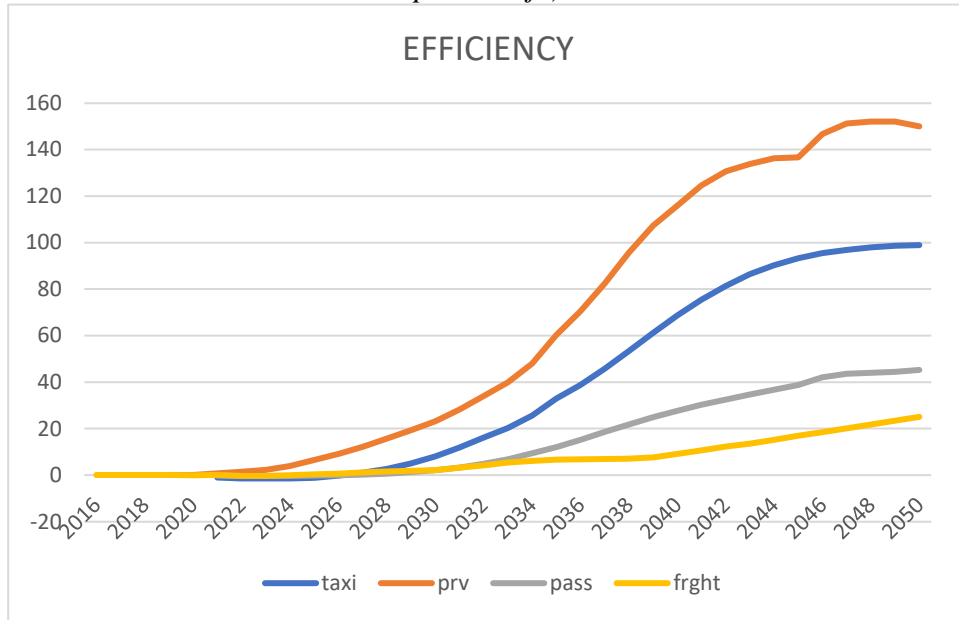
*Figura 3.8: vehículos eléctricos como proporción del total (en porcentaje)*





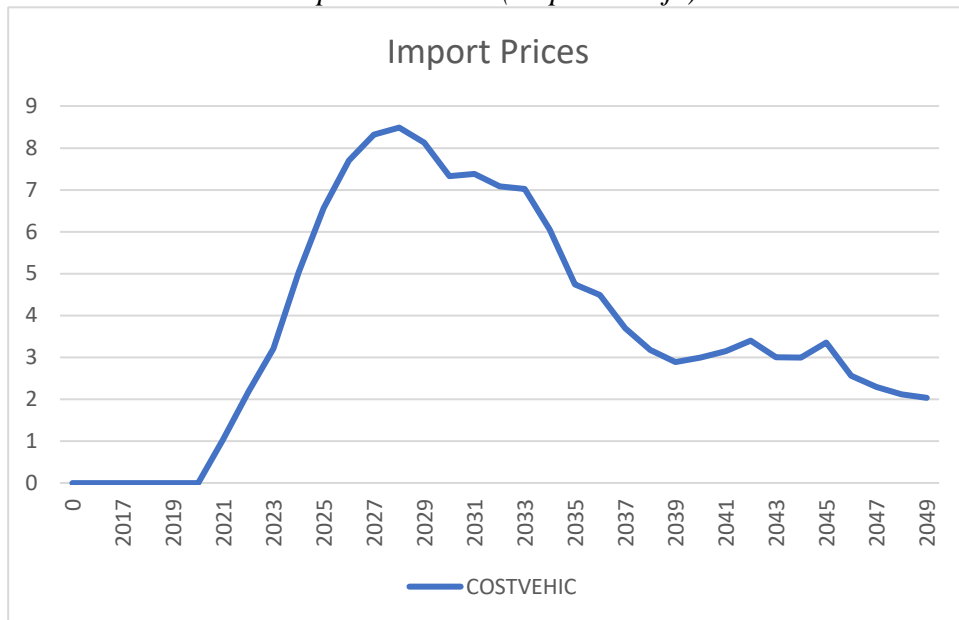
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM. BAU es la línea base y NDP es el PdD.

*Figura 3.9: cambio en la eficiencia promedio por uso como cambio con respecto a la BASE (en porcentaje)*



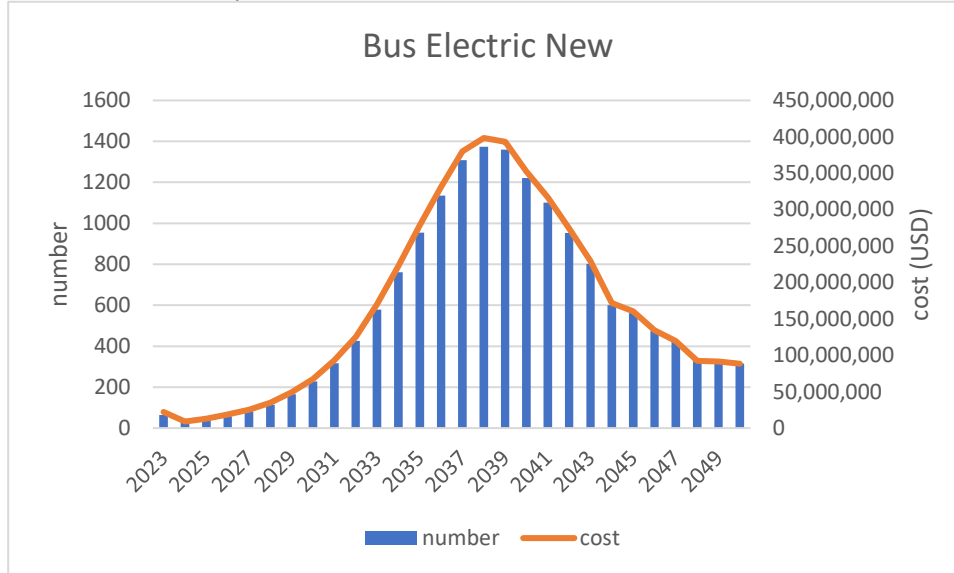
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM. PRV es transporte privado, pass es transporte público de pasajeros y frght es transporte de carga.

*Figura 3.10: cambio en el precio promedio de importación de vehículos como cambio con respecto a BASE (en porcentaje)*



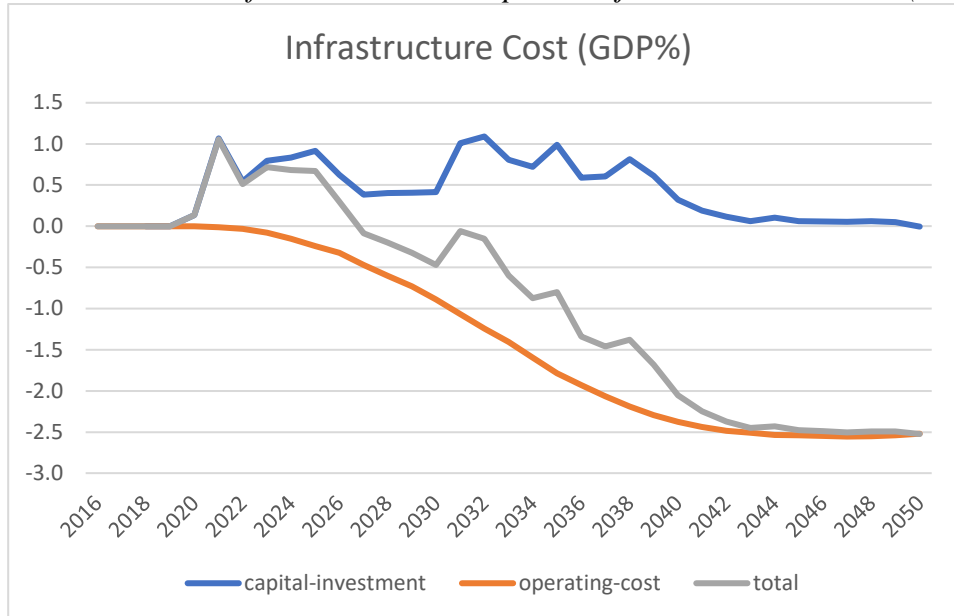
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM.

*Figura 3.11: número y costo (USD) de los nuevos autobuses eléctricos con el PdD*



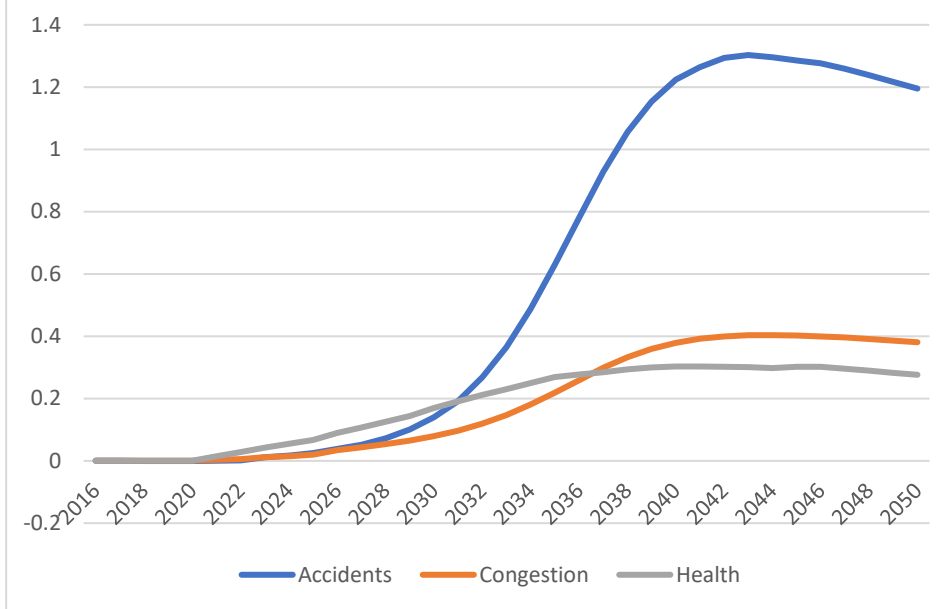
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM.

*Figura 3.12: costo total de infraestructura como porcentaje del PIB en la BASE (en porcentaje)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM.

*Figura 3.13: externalidades como porcentaje del PIB en la BASE (en porcentaje)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados de OSeMOSYS para GPKM.

Es importante señalar que, de acuerdo con Godínez-Zamora et al. (2020), la construcción de escenarios en OSeMOSYS “assumes that the Government will develop the necessary mechanisms to finance projects, promote a behavioral change in society, and generate an effective and transparent communication”. Sin embargo, ninguno de los instrumentos de política necesarios para generar estos cambios se modela de manera explícita. Por lo tanto, un enfoque similar se sigue en IEEM. Por ejemplo, los cambios de comportamiento de la sociedad típicamente implican la introducción de algún tipo de incentivo tributario y/o regulación.<sup>11</sup>

En el escenario **ELETRNSPRV**, suponemos que el movimiento hacia vehículos eléctricos se da por un cambio de preferencias. En los casos de **ELETRNSPASS**, **ELETAXI**, **ELEFREIGHT** y **ELETRNSA**, suponemos que el movimiento hacia vehículos eléctricos se da por un cambio

<sup>11</sup> Alternativamente, IEEM permite considerar escenarios en los que se modifican regulaciones y/o tasas tributarias con el objetivo de reducir las emisiones de GEI. En este tipo de escenarios, dos parámetros clave son (i) la elasticidad-ingreso de la demanda de servicios de transporte; y (ii) la elasticidad de sustitución entre modalidades de transporte (i.e., transporte público vs. privado). En el primer caso, en base a estimaciones econométricas, suponemos una elasticidad relativamente alta, e igual a 1.355. En el segundo caso, suponemos una elasticidad relativamente baja, e igual a 0.5. Como veremos, nuestros resultados muestran que el aumento de las emisiones es directamente proporcional al valor de ambas elasticidades.

tecnológico exógeno. Es decir, en ningún caso se trata de cambios que resultan como consecuencia de un cambio regulatorio o de incentivos que podría imponer el gobierno como parte del PdD. Sin embargo, IEEM también permite considerar escenarios en los que la sustitución de combustibles fósiles por electricidad resulta como consecuencia de un cambio de política pública.

Como dijimos, en todas las simulaciones el presupuesto del gobierno se ajusta mediante cambios en la tasa del impuesto directo. En lo que sigue, presentamos los resultados que generan los ocho escenarios que definimos en los párrafos anteriores. Para ello, nos concentramos en los desvíos que se generan respecto de las proyecciones del escenario base que también presentamos más arriba. Los resultados que consideramos son tanto macroeconómicos como sectoriales y distributivos. Los resultados de las simulaciones se presentan en las Figuras 4.2-4.15 de la siguiente sección.

#### **4. Resultados**

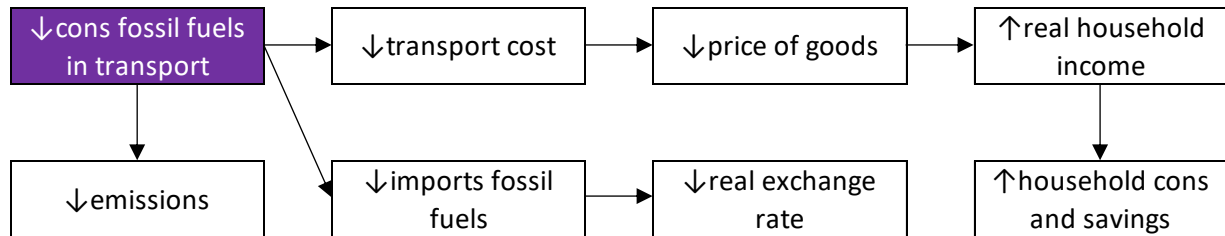
En general, los resultados esperados del movimiento hacia el uso de vehículos eléctricos son dos. Por un lado, se reduce el uso de combustibles fósiles que Costa Rica importa en su totalidad desde el resto del mundo (Figura 4.1a). En este sentido, cabe mencionar que Costa Rica es un tomador de precios en los mercados mundiales. En consecuencia, nuestras estimaciones suponen que Costa Rica puede importar cualquier volumen de combustibles fósiles a un precio internacional constante. Por otro lado, se espera un incremento de la demanda de electricidad que, a priori, se espera tenga un efecto positivo sobre su precio (Figura 4.1b). Luego, las ganancias de eficiencia que genera el uso de vehículos eléctricos podrían compensar (o no) el incremento del costo de la electricidad que genere el crecimiento de la demanda. En este sentido, cabe recordar que la calibración de IEEM supone que existe capacidad ociosa en la generación eléctrica. Sin embargo, no ocurre lo mismo en las redes de transporte y distribución.

Por otro lado, el financiamiento de las inversiones que se requieren para transformar los sectores de transporte y energía deben financiarse. En las simulaciones, suponemos que las inversiones se financian mediante endeudamiento externo (Figura 4.1c). Naturalmente, los efectos serían diferentes si utilizáramos una fuente de financiamiento alternativa (ver Figura 4.1d). Sin embargo, el endeudamiento externo supone un incremento del stock de deuda externa que, en períodos

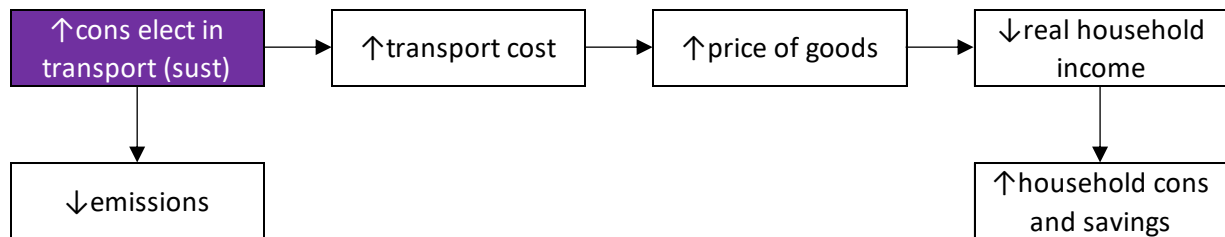


futuros, deberá repagarse. Sin embargo, para mantener la consistencia con los resultados de OSeMOSYS, suponemos que el préstamo externo que financia las inversiones de infraestructura no se devuelve durante el período de simulación.

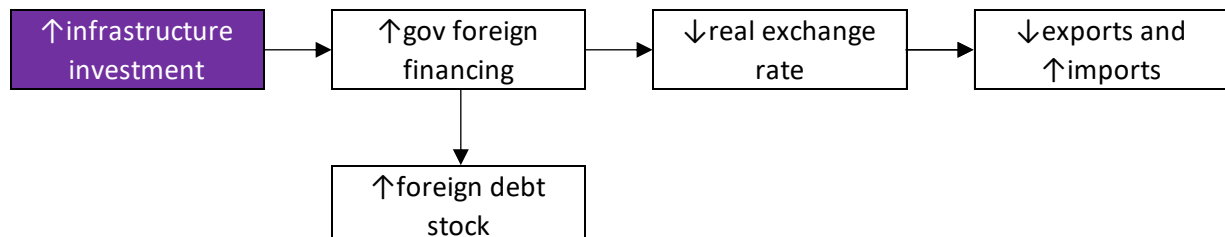
*Figura 4.1a: canales de transmisión reducción consumo combustibles fósiles*



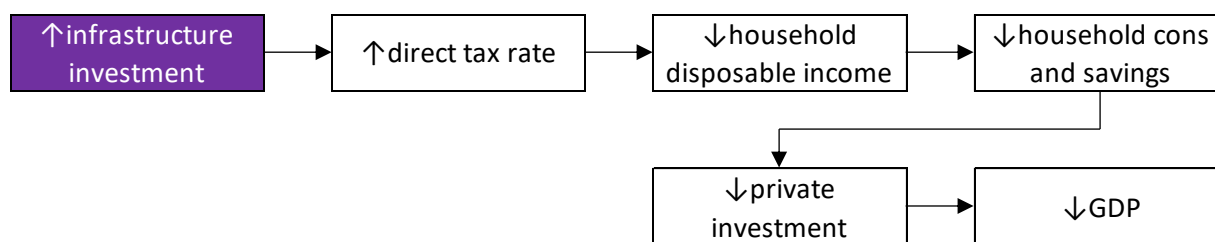
*Figura 4.1b: canales de transmisión aumento consumo electricidad*



*Figura 4.1c: canales de transmisión incremento inversión en infraestructura financiada con endeudamiento externo*



*Figura 4.1d: canales de transmisión incremento inversión en infraestructura financiada con impuestos directos*



Fuente: Elaboración de los autores.

#### 4.1. Emisiones, Generación de Electricidad e Importaciones de Refinados de Petróleo

En primer lugar, analizamos los efectos directos que cabe esperar de los escenarios descritos más arriba. Así, las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran el desvío anual respecto de la base para emisiones de CO<sub>2</sub>, generación de electricidad e importaciones de gasolina y diésel. La Figura 4.5 complementa la 4.2 con una descomposición del efecto del escenario combinado **COMBI** sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Naturalmente, reemplazar combustibles fósiles por electricidad tanto en el transporte privado como público reduce las emisiones de manera sustancial. En el escenario combinado (**COMBI**), las emisiones en 2050 se ubican 43.2 por ciento por debajo de las emisiones registradas en el escenario base para el mismo año. Sin embargo, este valor se encuentra bastante por debajo de la meta de reducir las emisiones de GEI.<sup>12</sup> En consecuencia, sería importante extender el presente trabajo para considerar otros componentes del PdD como se hizo recién en Banerjee et al. (in press). El PdD indica que la meta de cero emisiones netas al 2050 considera que el sector energético puede emitir hasta 2 Mtons.

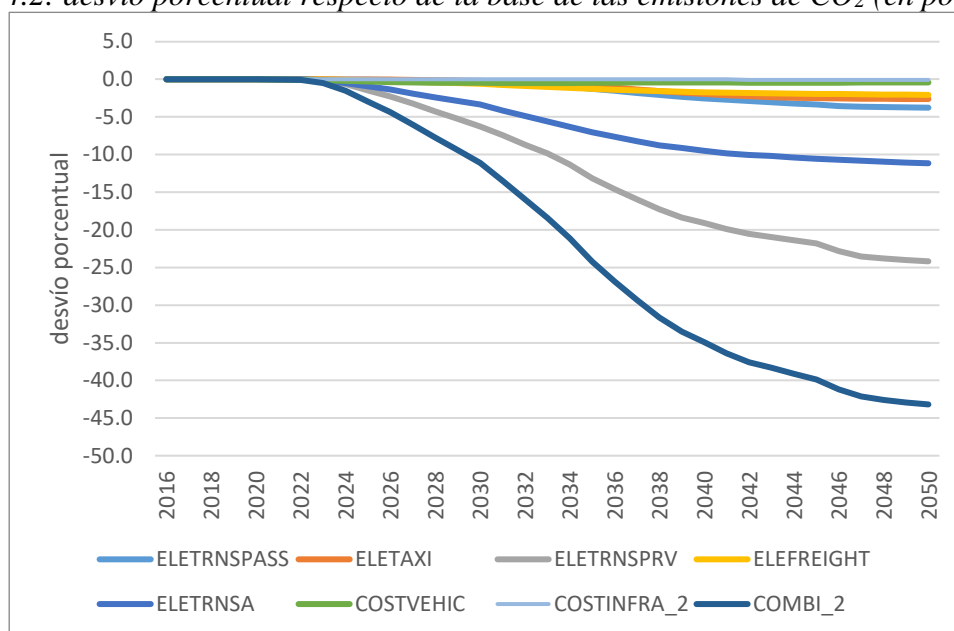
Los escenarios de sustitución de combustibles fósiles por electricidad (i.e., **ELETRNSPASS**, **ELETAXI**, **ELETRNSPRV**, **ELEFREIGHT** y **ELETRNSA**) registran un incremento en la producción del sector eléctrico que, en el escenario combinado, supera el 90 por ciento comparado con la base en 2050. En consecuencia, el sector eléctrico – que incluye generación, transmisión y

<sup>12</sup> Ver NDC de 2015 para más información.

distribución – absorbe una proporción superior de la inversión respecto de la registrada en el escenario base. Este resultado es consecuente con las inversiones que, de acuerdo con los resultados de OSeMOSYS, deben realizarse para garantizar transmisión y distribución de electricidad. El incremento del consumo eléctrico tiene, como contrapartida, una caída de las importaciones de combustibles fósiles (ver Figura 4.4). En 2050, las importaciones de gasolina y diésel son 84.9 y 61.0 por ciento inferiores a las registradas en el escenario base, respectivamente.

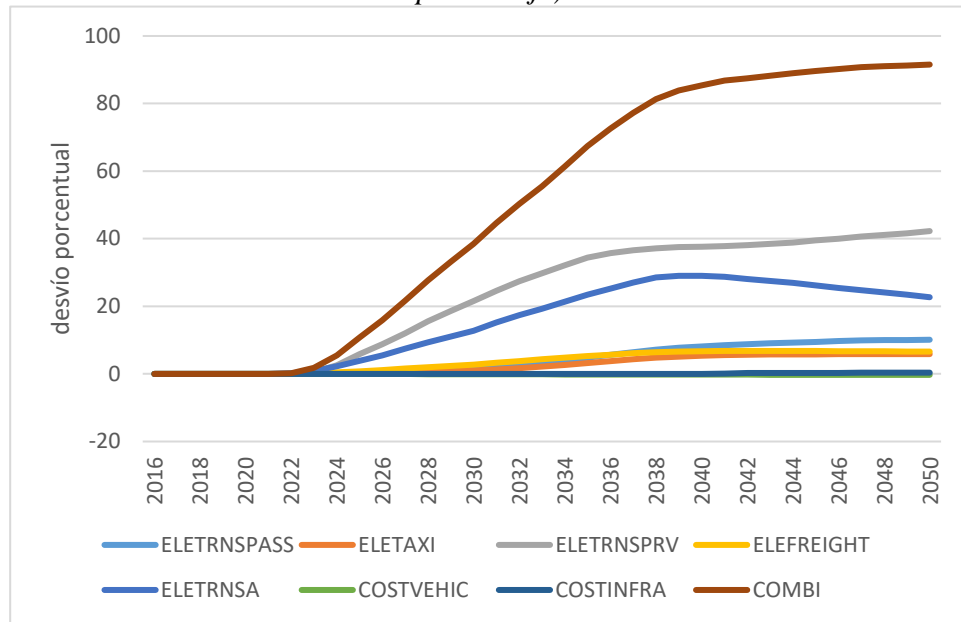
La Figura 4.5 muestra que la principal fuente de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es la electrificación del transporte privado (escenario **ELETRNSPRV**) con la electrificación del transporte de carga ocupando el segundo lugar (escenarios **ELEFREIGHT** y **ELETRNSA**). En este sentido, cabe recordar que el escenario **ELEFREIGHT** no considera la utilización de vehículos propios por parte de las actividades productivas. Por su parte, el transporte de pasajeros (escenarios **ELETRNSPASS** y **ELETAXI**) contribuyen 14.9 por ciento a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

*Figura 4.2: desvío porcentual respecto de la base de las emisiones de CO<sub>2</sub> (en porcentaje)*



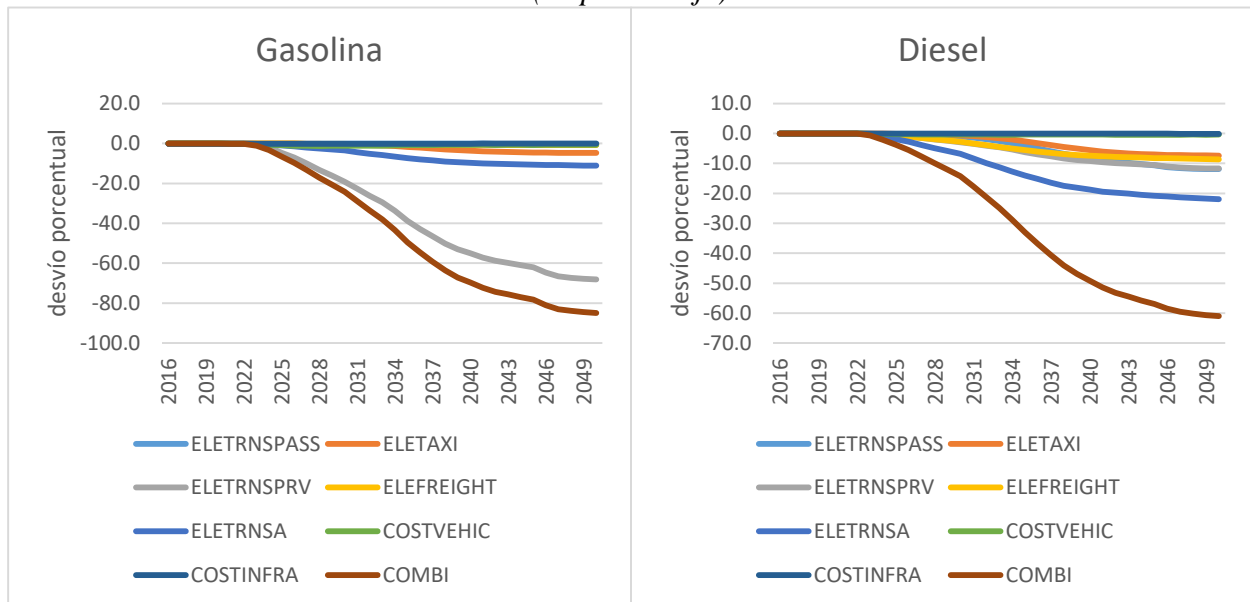
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

Figura 4.3: desvío porcentual respecto de la base de la generación de electricidad (en porcentaje)



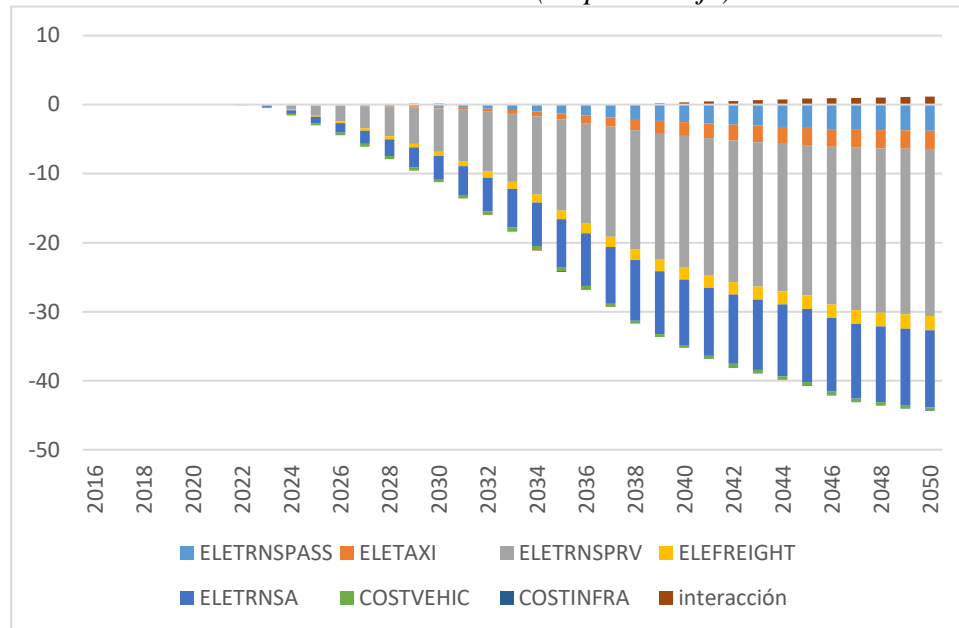
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

Figura 4.4: desvío porcentual respecto de la base de las importaciones de refinados de petróleo (en porcentaje)



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

*Figura 4.5: descomposición del escenario combinado; desvío porcentual respecto de la base de las emisiones de CO<sub>2</sub> (en porcentaje)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

## 4.2. Resultados Macroeconómicos y Sectoriales

Las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8 muestran la evolución del consumo privado, de la inversión privada y del PIB a costo de factores en los distintos escenarios, respectivamente. Las Figuras 4.9 y 4.10 muestran el cambio respecto de la base de las tasas de crecimiento anual promedio de los agregados macroeconómicos y de las producciones sectoriales, respectivamente. La Figura 4.11 registra los cambios en las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera cada una de las actividades productivas en IEEM-CRI. La Figura 4.12 permite analizar los efectos fiscales (i.e., sobre ingresos y gastos del gobierno) de los componentes del PdD aquí considerados. Los efectos sobre la tasa de pobreza se muestran en la Figura 4.13. Por último, la Figura 4.14 estima el valor presente neto de los distintos componentes para el PdD aquí considerados.

En términos agregados, los desvíos anuales de tasa de crecimiento son relativamente pequeños. Por ejemplo, la tasa de crecimiento anual promedio del consumo privado para 2020-2050 varía entre -0.01 (escenario **COSTVEHIC**) y +0.06 (escenario **COMBI**) puntos porcentuales respecto de la registrada en el escenario base. Alternativamente, el consumo privado en 2050 se desvía del registrado en el escenario base entre -0.35 y 1.70 por ciento. En términos generales, los resultados

para los primeros cinco escenarios son consistente con la Figura 3.9. Es decir, las ganancias de eficiencia predominan en los casos de **ELETAXI** y **ELETRNSPRV**. Por ejemplo, en el caso del transporte privado (escenario **ELETRNSPRV**), los indicadores macroeconómicos se ubican por sobre los niveles del escenario base a partir del año 2034. Es decir, al mismo tiempo que las ganancias de eficiencia energética por el uso de vehículos eléctrico se aceleran. En los escenarios de transporte de pasajeros y transporte de carga, y de acuerdo con los resultados de OSeMOSYS, las ganancias de eficiencia energética son menos importantes. Los resultados del escenario **ELETRNSPASS** muestran un efecto levemente negativo sobre el consumo privado de reducir el uso de combustibles fósiles en el transporte de pasajeros. El resultado se explica por el incremento en el costo de la provisión de servicios de transporte de pasajeros.

El encarecimiento de los vehículos en el escenario **COSTVEHIC** tiene efectos negativos sobre los indicadores macroeconómicos. En particular, vemos que durante el período 2021-2036 se produce una caída tanto del consumo como de la inversión privada. Trivialmente, este resultado se explica por el incremento en el precio de los vehículos importados que se requiere para electrificar los distintos tipos de vehículos que estamos considerando. En el escenario **COSTINFRA**, la inversión en infraestructura energética financiada con endeudamiento externo genera, por construcción, un aumento de la inversión privada que tiene efectos positivos sobre la economía en su conjunto (Figura 4.6).<sup>13</sup> Además, también se observan efectos positivos debido a la reducción en los costos de operación del sector energético. En particular, vemos que, hacia el final del período de simulación, el ahorro de costos operativos tiene un efecto positivo sobre el bienestar (consumo) de los hogares costarricense.

En términos macroeconómicos, es interesante destacar los efectos que tiene la reducción de las importaciones de combustibles fósiles. En particular, la reducción de las importaciones de gasolina y diésel genera una apreciación del tipo de cambio real que tiene como objetivo reducir las exportaciones para igualar las entradas y salidas de divisas. En consecuencia, los sectores más orientados a la exportación resultan perdedores (ver abajo). Por ejemplo, en el escenario **ELETRNSPRV**, las exportaciones son, en 2050, 1.8 por ciento menores a las registradas en el

---

<sup>13</sup> En IEEM, el sector eléctrico forma parte del sector privado aunque la prestación del servicio de electricidad la realice una empresa pública.

escenario base. En cambio, el incremento en el precio de importación de los vehículos automotores (escenario **COSTVEHIC**) genera una depreciación cambiaria necesaria para promover las exportaciones a fin de incrementar los ingresos de divisas para amortiguar los efectos negativos de este escenario. En el escenario combinado (**COMBI**), vemos que predomina el primero de los efectos. Además, en el escenario **COMBI** se produce un aumento en el ingreso de divisas que financian la inversión en el sector energético de Costa Rica. Así, en este escenario las exportaciones e importaciones se reducen, en 2050, 2.5 y 1.0 por ciento, respectivamente. Por otro lado, es interesante destacar que Costa Rica, en tanto tomador de precios a nivel mundial, importa combustibles fósiles a un precio internacional que se supone constante. En cambio, la generación de electricidad tiene una curva de oferta con pendiente positiva.<sup>14</sup> Por lo tanto, la sustitución de combustibles genera “trade-offs” que están ausentes en el escenario base sin PdD.

A nivel sectorial (Figura 4.10), vemos que los sectores ganadores son aquellos vinculados con la generación eléctrica y el transporte. En el escenario **COMBI**, el uso del transporte particular se incrementa, respecto del escenario base, en 9.2 por ciento en 2050. En consecuencia, nuestros resultados sugieren que deben considerarse incentivos adicionales para generar una sustitución del transporte privado por el transporte público de pasajeros. Por otro lado, los sectores productivos registran un impacto negativo por el incremento del precio de la energía eléctrica. Además, y como consecuencia de la apreciación cambiaria, resultan perdedores los sectores más orientados a la exportación.

Por otro lado, la caída más importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> se registra para el transporte privado (Figura 4.11). En 2050, y consistente con la definición de los escenarios discutida más arriba, las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas al uso de vehículos particulares se reducen en aproximadamente 93 por ciento. Además, también registran caída de las emisiones que superan el 80 por ciento los sectores de transporte de pasajeros, taxis y transporte de carga.

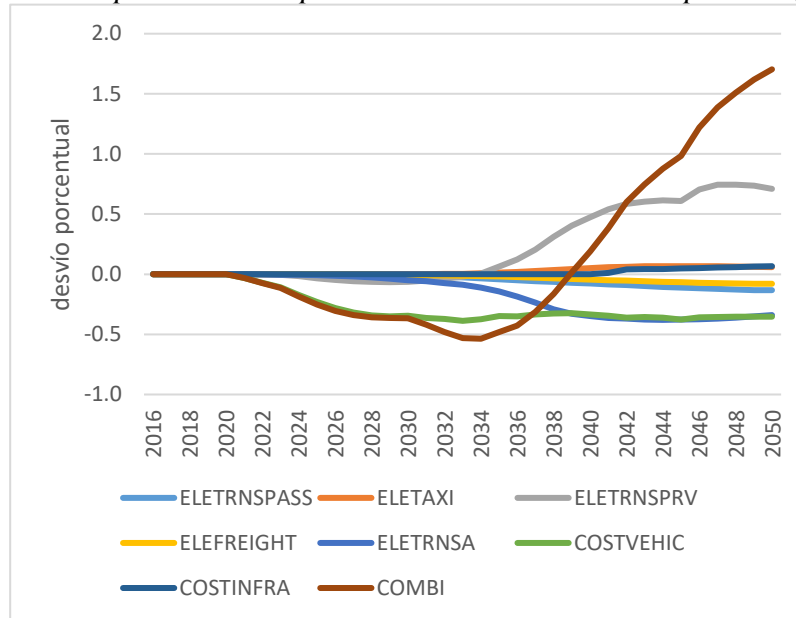
Adicionalmente, la implementación del PdD tendrá efectos sobre las finanzas públicas (Figura 4.12). En particular, es esperable que se reduzca la recaudación arancelaria por la caída de las

---

<sup>14</sup> En este sentido, IEEM permite suponer que el precio de la electricidad está regulado; por ejemplo, podrían considerarse los planes del gobierno con respecto a ajustes a los precios de electricidad.

importaciones de combustibles fósiles al mismo tiempo que se incrementa la inversión pública en infraestructura eléctrica. Los resultados de IEEM-CRI muestran para el 2050 que la recaudación arancelaria se reduce, respecto de la base, en el equivalente a 1.1 puntos porcentuales del PIB. En consecuencia, la recaudación de impuestos directos se incrementa, también respecto de la base, en 0.7 puntos porcentuales del PIB. En este sentido, cabe recordar que nuestras simulaciones suponen que el gobierno utiliza impuestos directos para mantener su presupuesto balanceado.

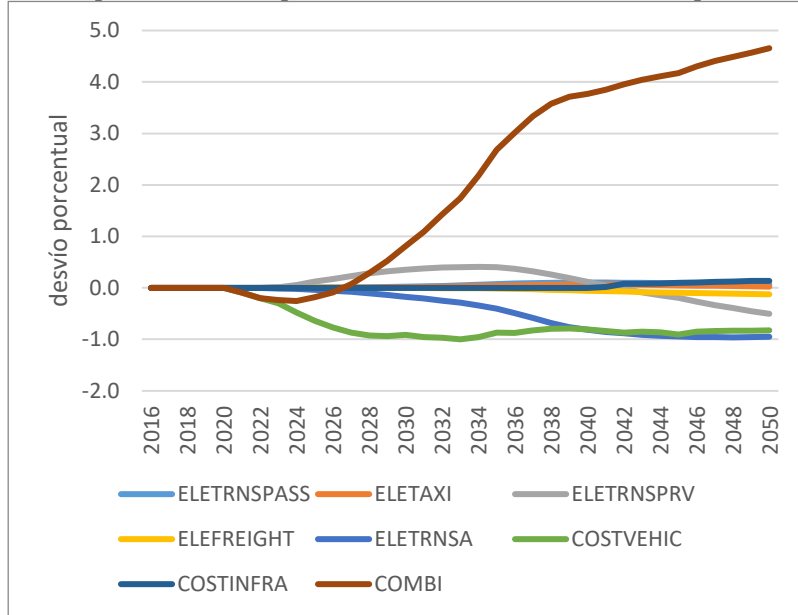
*Figura 4.6: desvío porcentual respecto de la base del consumo privado (porcentaje)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

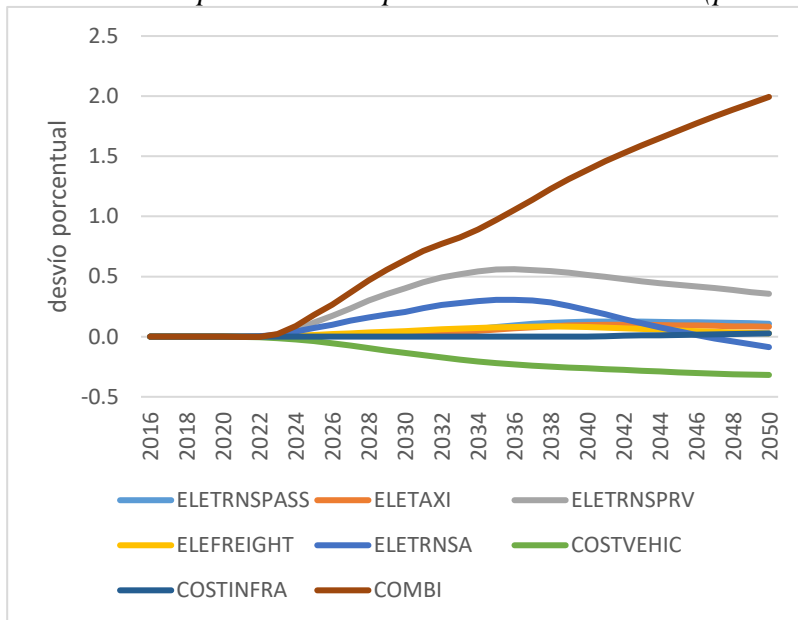


Figura 4.7: desvío porcentual respecto de la base de la inversión privada (porcentaje)



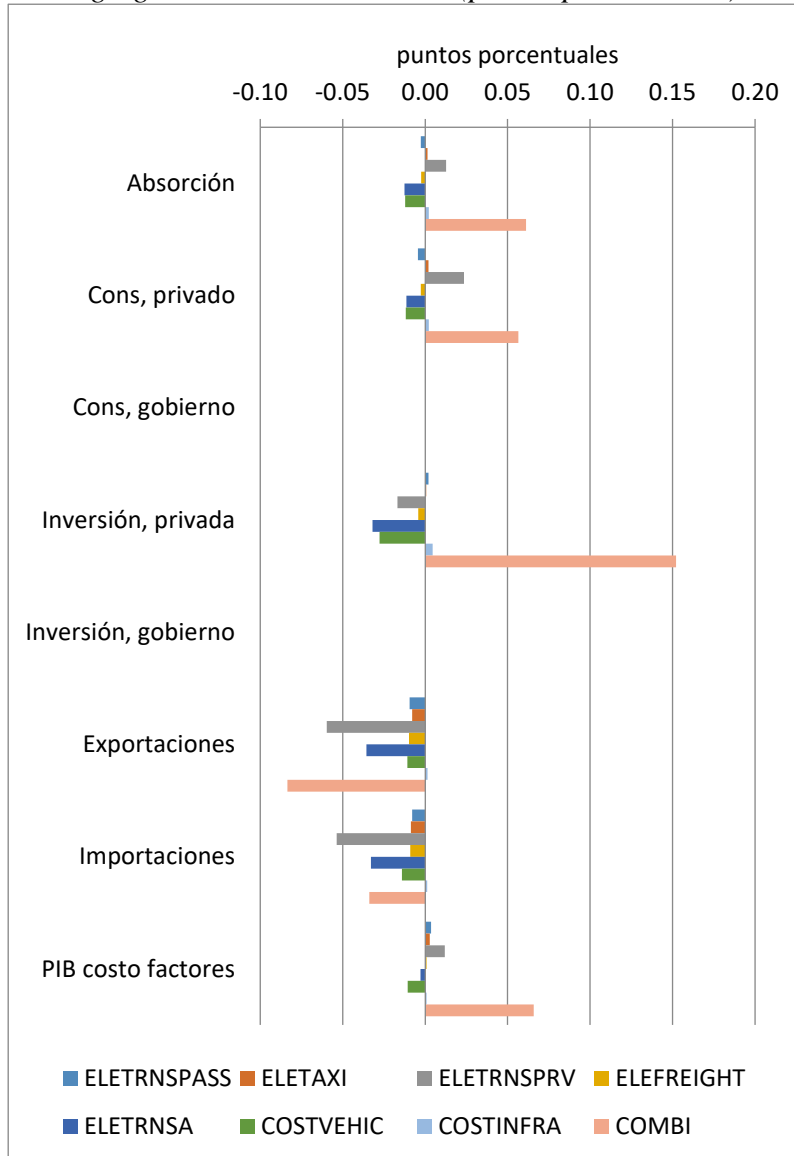
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

Figura 4.8: desvío porcentual respecto de la base del PIB (porcentaje)



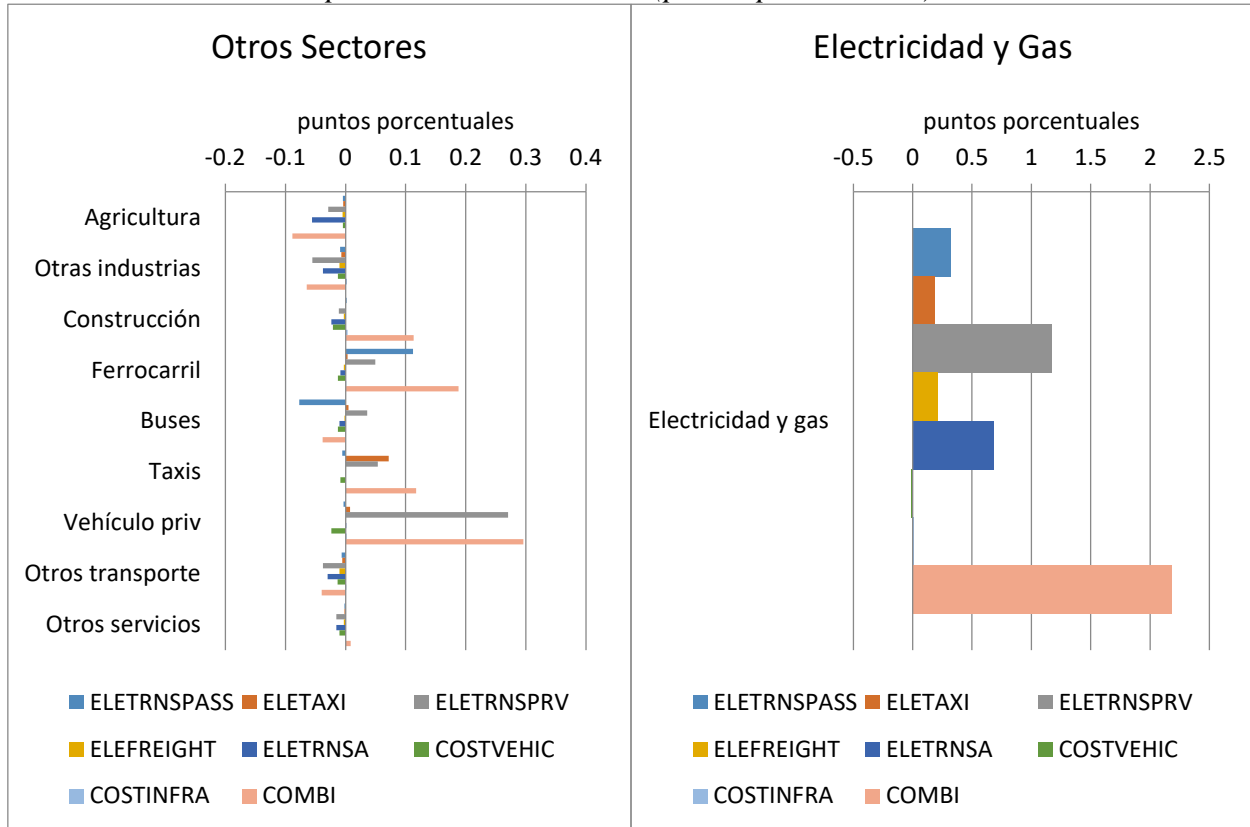
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

*Figura 4.9: desvío respecto de la base de la tasa de crecimiento anual promedio de los agregados macroeconómicos (puntos porcentuales)*



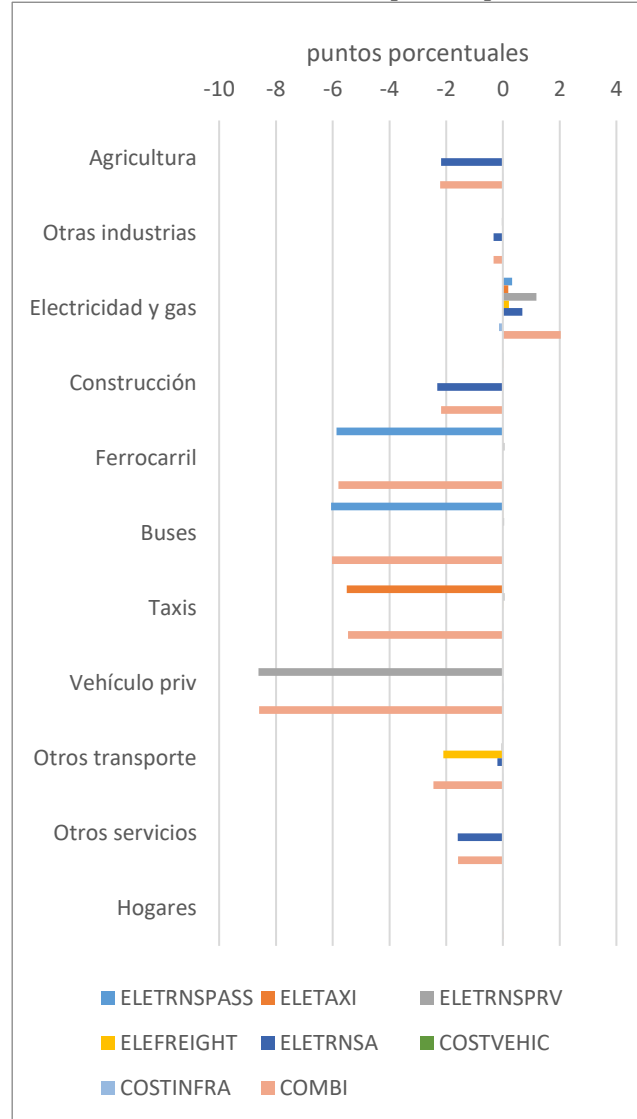
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

*Figura 4.10: desvío respecto de la base de la tasa de crecimiento anual promedio de las producciones sectoriales (puntos porcentuales)*



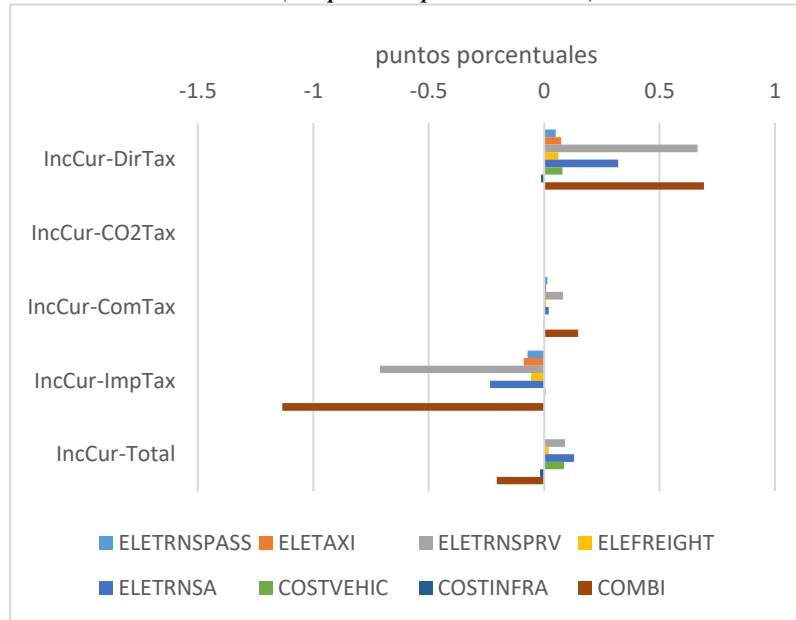
Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

*Figura 4.11: desvío respecto de la base de la tasa de crecimiento anual promedio de las emisiones de CO<sub>2</sub> sectoriales (puntos porcentuales)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

*Figura 4.12: desvío respecto de la base de ingresos y gastos del gobierno como proporción del PIB (en puntos porcentuales)*

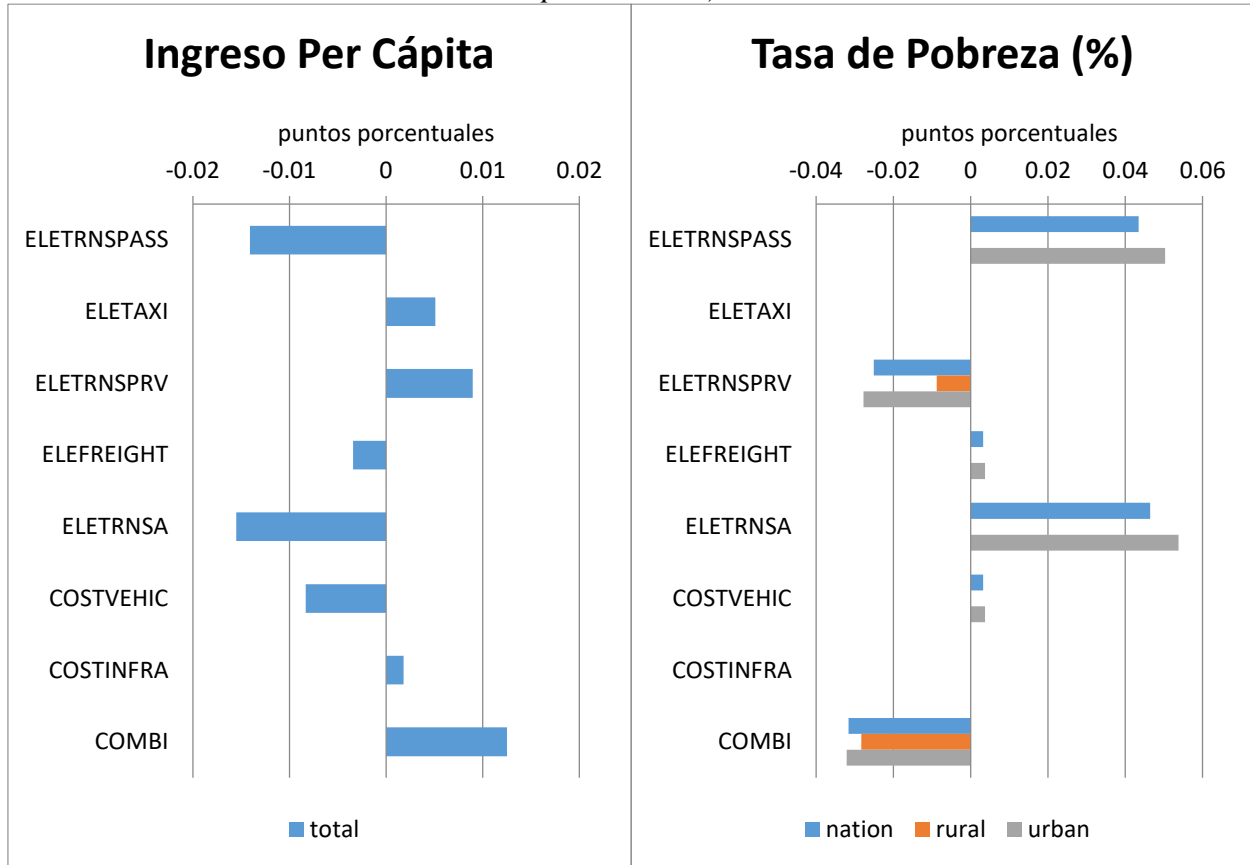


Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

### 4.3. Resultados Distributivos

Como vemos (Figura 4.13), los elementos aquí considerados del PdD no generan efectos distributivos de importancia. En particular, los efectos sobre pobreza y desigualdad son negativos (i.e., se incrementan tanto la pobreza como la desigualdad) pero extremadamente pequeños. El principal canal de transmisión desde el PdD hacia el ingreso/consumo de los hogares viene dado por los mercados factoriales. Estos resultados muestran que los efectos sobre las remuneraciones factoriales como así también sobre los niveles de empleo son pequeños. Por lo tanto, el ingreso de los hogares se afecta de forma poco importante. Sin embargo, es interesante destacar el fuerte aumento del nivel de actividad del sector eléctrico que impacta positivamente tanto sobre la rentabilidad del capital sectorial como sobre el ingreso del trabajo altamente calificado. En consecuencia, son los hogares especializados en esos factores los que registran un efecto particularmente positivo del PdD. Además, por tratarse de hogares que tienen tasas de ahorro más elevadas, vemos un efecto positivo sobre la inversión privada. En cualquier caso, nuestros resultados muestran una leve caída de la pobreza como consecuencia del aumento del consumo privado que observamos en los últimos períodos de implementación del PdD.

Figura 4.13: desvío respecto de la base de la tasa de crecimiento anual promedio del ingreso per cápita y desvío respecto de la base de la base de la tasa de pobreza en 2030 (puntos porcentuales)



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

#### 4.4. Análisis Costo-Beneficio

Por último, en este apartado computamos el valor presente neto (VPN) del escenario combinado. Para ello, seguimos a Banerjee et al. (2019) calculando el VPN a partir de la variación equivalente que registran los hogares en el escenario **COMBI**. Para ello, utilizamos la fórmula

$$VPN = \sum_{t=2020}^{t=2050} \frac{\sum_{h \in H} EV_{h,t}}{(1 + intrat)^{2021-t}}$$

donde  $EV_{h,t}$  es la variación equivalente e  $intrat$  es la tasa de interés que, siguiendo la práctica oficial del BID, se supone igual a 12%. La variación equivalente mide el cambio en el bienestar que experimentan los hogares costarricenses. Para ello, responde la siguiente pregunta: ¿cuánto

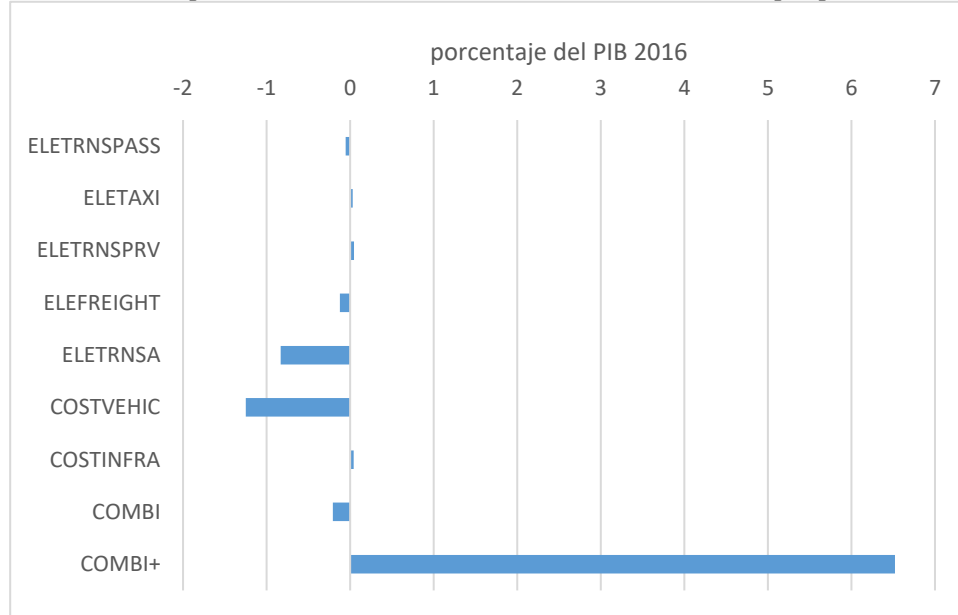
ingreso debería transferirse a los hogares costarricenses para lograr el mismo cambio de bienestar que generan los componentes de Plan de Descarbonización aquí considerados? En la ecuación anterior, el bienestar de cada uno de los 14 hogares identificados en el modelo IEEM-CRI se pondera de la misma manera. Es decir, y de manera implícita, se emplea una función de utilidad social de tipo utilitarista.

El VPN estimado de acuerdo a la fórmula anterior asciende a -64.7 miles de millones de colones de 2016 o 0.1 miles de millones de dólares del mismo año cuando solo se consideran los resultados de IEEM (ver escenario **COMBI**) (Figura 4.14). Este valor es equivalente a 0.2 por ciento del PIB de 2016. En este caso, el hecho de que los beneficios superen a los costos en los últimos períodos de simulación impacta sobre la estimación del VPN. Es importante mencionar que los resultados cambian sustancialmente cuando se incorporan al análisis costo-beneficio efectos positivos que podrían atribuirse al PdD tales como mejoras en indicadores de salud por reducción de la contaminación ambiental, reducción del tiempo que se demora el traslado por reducción del tráfico, reducción de accidentes de tráfico, entre los más importantes (ver escenario **COMBI+**). Como vemos, el VPN se incrementa hasta 2037.8 miles de millones de colones o 3.8 miles de millones de dólares. En esta estimación, estos beneficios estimados por OSeMOSYS se suman al VPN que arrojan las estimaciones de IEEM. Sin embargo, podrían incorporarse a IEEM como (a) mejoras en la productividad laboral (i.e., mejor salud), y (b) reducciones en los tiempos de traslado.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Por ejemplo, la reducción en los tiempos de traslado se podría incorporar directamente como costos de transporte tipo iceberg. Es decir, si una persona trabaja 8 horas pero tarda 2 horas en ir y venir del trabajo, el costo de transporte sería 2 horas \* salario horario. Luego, la simulación reduciría ese costo de transporte.

*Figura 4.14: valor presente neto del Plan de Descarbonización (proporción del PIB)*



\*Incluye externalidades positivas estimadas por OSeMOSYS. Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

Finalmente, la Figura 4.15 muestra el cambio del ahorro genuino respecto de la base para cada uno de los escenarios que consideramos.<sup>16</sup> Como vemos, los escenarios que involucran un aumento sustancial de la inversión (**COSTINFRA** y **COMBI**) o una reducción sustancial de las emisiones (**ELETRNSPRV** y **COMBI**) muestran un incremento del ahorro genuino. En cambio, el ahorro genuino cae en los escenarios en los que (a) solo incrementa el costo de los vehículos (**COSTVEHIC**), o (b) las ganancias de eficiencia por la electrificación de vehículos son relativamente pequeñas. En este último caso, el aumento del ahorro genuino que genera la caída de las emisiones no alcanza para compensar la caída del ahorro genuino que genera la caída del ahorro nacional bruto.<sup>17</sup> Por ejemplo, en el escenario **COMBI**, el ahorro genuino se incrementa en 1.1 miles de millones de dólares en 2030. En gran parte, este incremento se explica por el incremento de la inversión privada que se requiere para financiar las inversiones en el sector

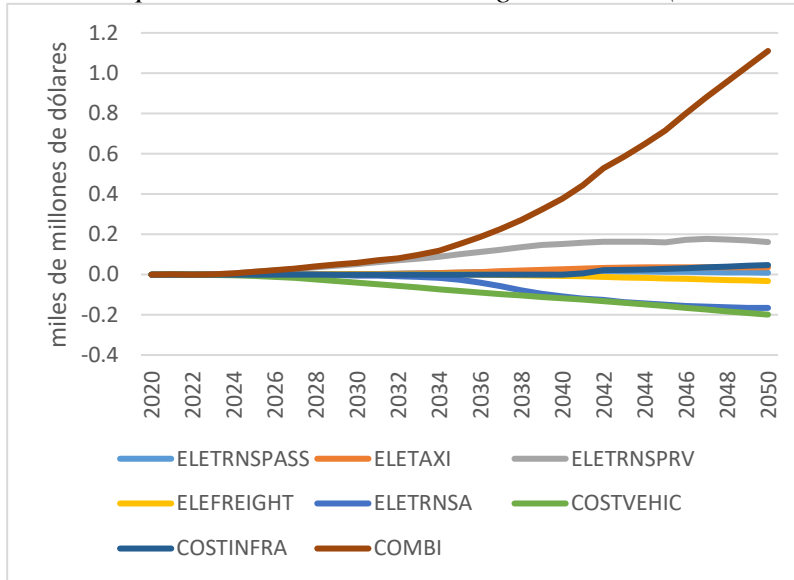
<sup>16</sup> El ahorro genuino se define como la diferencia entre el ahorro nacional neto y los costos asociados al agotamiento de los recursos naturales tales como el stock de capital minero.

<sup>17</sup> En el cálculo del ahorro genuino, las emisiones de CO<sub>2</sub> se valúan en US\$30 por tonelada (Lange et al. 2018).



energético de Costa Rica. Por ejemplo, la electrificación del transporte privado contribuye con 0.16 miles de millones de dólares al aumento del ahorro genuino en 2030.

*Figura 4.15: desvío respecto de la base del ahorro genuino real (en millones de dólares)*



Fuente: elaboración de los autores en base a resultados IEEM.

## 5.0 Conclusiones

En este trabajo empleamos IEEM-CRI para evaluar algunos de los componentes que tendrá el Plan de Descarbonización de Costa Rica, con un enfoque sobre los sectores energéticos y de transporte. Los resultados muestran que, haciendo foco en el sector de transporte, sería posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 43.2 por ciento respecto de las que IEEM-CRI predice para 2050 en ausencia de cambios vinculados al PdD. Sin embargo, nuestros resultados también muestran el *trade-off* que existiría, en ciertos escenarios, entre reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento económico. Por ejemplo, la forma en que se financien las inversiones requeridas para la electrificación del transporte tiene efectos importantes sobre los resultados. En particular, cabe destacar que nuestros escenarios suponen que el sector energético financia sus inversiones mediante endeudamiento externo. Es decir, para ser consistentes con el análisis de Godínez-Zamora et al. (2020), suponemos que no se produce ningún tipo de desplazamiento de las inversiones destinadas a otras actividades económicas.

Como agenda de investigación futura, proponemos dos áreas de estudio: la primera busca mejorar la consistencia entre OSeMOSYS y IEEM y la segunda, un enfoque sobre las políticas que se requiere para dar luz a la transformación energética prevista por el PdD. Primero, como se describe al inicio del documento, IEEM se alimenta con los resultados generados por el modelo OSeMOSYS. En este estudio, no existe retroalimentación desde IEEM hacia OSeMOSYS e, en consecuencia, existe cierta “tensión” entre los resultados de uno y otro modelo. Por ejemplo, los resultados de OSeMOSYS se generan bajo ciertos supuestos para la evolución de las demandas de servicios de transporte. Sin embargo, en IEEM las demandas de servicios de transporte son variables endógenas que se modifican al simular escenarios vinculados al PdD. En investigación futura, se fortalecerán los vínculos entre modelos para permitir la retroalimentación entre modelos así asegurándose de su consistencia interna. Segundo, sería deseable considerar otros escenarios en los que la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> se da como resultado de políticas públicas diseñadas para promover el uso de tecnologías limpias. De esa forma, será posible evaluar de manera más acabada los costos y beneficios que tendría el Plan de Descarbonización.

## Referencias

- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E.L., McDougall, R., van der Mensbrugghe, D., 2019. The GTAP Data Base: Version 10. *Journal of Global Economic Analysis*; Vol 4, No 1 (2019)DO - 10.21642/JGEA.040101AF.
- Armington, P.S., 1969. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production (Une théorie de la demande de produits différenciés d'après leur origine) (Una teoría de la demanda de productos distinguiéndolos según el lugar de producción). *Staff Papers (International Monetary Fund)* 16, 159–178. <https://doi.org/10.2307/3866403>
- Banerjee, Onil, Bagstad, K.J., Cicowiez, M., Dudek, S., Horridge, M., Alavalapati, J.R.R., Masozera, M., Rukundo, E., Rutebuka, E., 2020. Economic, land use, and ecosystem services impacts of Rwanda's Green Growth Strategy: An application of the IEEM+ESM platform. *Science of The Total Environment* 729, 138779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138779>
- Banerjee, O., Cicowiez, M., 2020. Construcción de una Matriz de Contabilidad Social para Costa Rica para el Año 2016. Inter-American Development Bank Technical Note.
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Horridge, M., Vargas, R., 2019a. Evaluating synergies and trade-offs in achieving the SDGs of zero hunger and clean water and sanitation: An application of the IEEM Platform to Guatemala. *Ecological Economics* 161, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.003>
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Horridge, M., Vargas, R., 2016. A Conceptual Framework for Integrated Economic–Environmental Modeling. *The Journal of Environment & Development* 25, 276–305. <https://doi.org/10.1177/1070496516658753>
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Vargas, R., Horridge, M., 2019b. The SEEA-Based Integrated Economic-Environmental Modelling Framework: An Illustration with Guatemala's Forest and Fuelwood Sector. *Environmental and Resource Economics* 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0205-9>
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Vargas, R., Molina-Perez, E., Malek, Ž., in press. An Application of the IEEM+ESM Approach to Decarbonization of Costa Rica's Agriculture, Forestry and Other Land Uses Sectors. Inter-American Development Bank Working Paper, Washington D.C.
- Blanchflower, D.G., Oswald, A.J., 2005. The Wage Curve Reloaded. National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 11338.
- Blanchflower, D.G., Oswald, A.J., 1994. Estimating a Wage Curve for Britain: 1973-90. *Economic Journal* 104, 1025–43.
- Dervis, K., de Melo, J., Robinson, S., 1982. *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Godínez-Zamora, G., Victor-Gallardo, L., Angulo-Paniagua, J., Ramos, E., Howells, M., Usher, W., De León, F., Meza, A., Quirós-Tortós, J., 2020. Decarbonising the transport and energy sectors: Technical feasibility and socioeconomic impacts in Costa Rica. *Energy Strategy Reviews* 32, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100573>
- Kaufmann, R.K., 2004. The Mechanisms for Autonomous Energy Efficiency Increases: A Cointegration Analysis of the US Energy/GDP Ratio. *The Energy Journal* 25, 63–86.

- Lofgren, H., Harris, R.L., Robinson, S., Thomas, M., El-Said, M., 2002. A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Robinson, S., Yunez-Naude, A., Hinojosa-Ojeda, R., Lewis, J.D., Devarajan, S., 1999. From stylized to applied models: - Building multisector CGE models for policy analysis. *North American Journal of Economics and Finance* 10, 5–38. [https://doi.org/10.1016/S1062-9408\(99\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S1062-9408(99)00014-5)
- Sadoulet, E., de Janvry, A., 1995. *Quantitative Development Policy Analysis*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Sanchez, M.V.S.C., 2004. Rising inequality and falling poverty in Costa Rica's agriculture during trade reform: a macro-micro general equilibrium analysis. . *A Macro-Micro General Equilibrium Analysis*. Shaker Publishing, Maastricht.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. *World population prospects Highlights, 2019 revision Highlights, 2019 revision*.

## Apéndice A

*Tabla A.1: elasticidades valor agregado, comercio internacional, y consumo*

Actividad/Producto	VA	Armington	CET	LES
Arroz	0.25	2.00	2.00	0.67
Otros agricultura	0.25	2.00	2.00	0.67
Banano	0.25	2.00	2.00	0.54
Piña	0.25	2.00	2.00	0.73
Café en fruta	0.25	2.00	2.00	0.54
Silvicultura	0.20	2.00	2.00	0.67
Pesca	0.20	2.00	2.00	0.77
Minería	0.20	2.00	2.00	1.47
Arroz elaborado	0.95	2.00	2.00	0.77
Alimentos	0.95	1.50	1.50	0.77
Café elaborado	0.95	1.50	1.50	0.77
Bebidas y tabaco	0.95	1.50	1.50	0.77
Textiles y cuero	0.95	1.50	1.50	1.02
Gasolina	0.95	1.50	1.50	0.97
Diesel	0.95	1.50	1.50	0.97
Bunker	0.95	1.50	1.50	0.97
Otrs productos petróleo	0.95	1.50	1.50	0.97
Químicos	0.95	1.50	1.50	0.97
Plástico y caucho	0.95	1.50	1.50	0.97
Prod minerales no met	0.95	1.50	1.50	1.07
Prod metálicos	0.95	1.50	1.50	1.07
Maquinaria y equipo	0.95	1.50	1.50	1.47
Vehículos	0.95	1.50	1.50	1.47
Otras manufacturas	0.95	1.50	1.50	1.47
Electricidad y gas	0.95	0.90	0.90	0.74
Agua	0.95	0.90	0.90	0.74
Construcción	0.95	0.90	0.90	1.46
Comercio	0.95	0.90	0.90	1.46
Transporte ferrocarril	0.95	0.90	0.90	1.36
Transporte tierra pasajeros	0.95	0.90	0.90	1.36
Transporte taxis	0.95	0.90	0.90	1.36
Transporte carga	0.95	0.90	0.90	1.36
Transporte mar y aire pasajeros	0.95	0.90	0.90	1.36
Transporte otros	0.95	0.90	0.90	1.36
Hoteles y restaurantes	0.95	0.90	0.90	1.52
Telecomunicaciones	0.95	0.90	0.90	1.36
Svc profesionales	0.95	0.90	0.90	1.46
Svc financieros	0.95	0.90	0.90	1.21
Administración pública	0.95	0.90	0.90	1.46
Educación	0.95	0.90	0.90	1.46
Salud	0.95	0.90	0.90	1.46
Otros servicios	0.95	0.90	0.90	1.46
Svc domésticos	0.95	0.90	0.90	1.46

Armington = función CES (elasticidad de sustitución entre compras nacionales e importaciones)

CET = función elasticidad de transformación constante (elasticidad de transformación entre ventas nacionales y exportaciones). LES = sistema de gasto lineal (elasticidad consumo hogares respecto gasto total consumo hogares).

### **Reconocimientos**

Los autores agradecen la colaboración y suministro de resultados de OSeMOSY colegas de la Universidad de Costa Rica, en específico, Jairo Quirós-Tortós, Mónica Rodríguez Zúñiga y Luis Fernando Victor Gallardo. Los autores agradecen la colaboración de colegas Juan Manuel Murguía y Adrien Vogt-Schilb por sus comentarios. Este estudio fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo.