



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

Efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre el producto interno bruto en los países de América Latina

Estimaciones preliminares
e hipotéticas a partir de un
metaanálisis y una función
de transferencia de beneficios

Luis Miguel Galindo
Allan Beltrán
Jimmy Ferrer Carbonell
José Eduardo Alatorre



NACIONES UNIDAS

CEPAL





Efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre el producto interno bruto en los países de América Latina

**Estimaciones preliminares e hipotéticas a partir de un
metaanálisis y una función de transferencia de beneficios**

Luis Miguel Galindo
Allan Beltrán
Jimmy Ferrer Carbonell
José Eduardo Alatorre



Este documento fue preparado por Luis Miguel Galindo, Jefe de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Allan Beltrán, Consultor, y Jimmy Ferrer Carbonell y José Eduardo Alatorre, Oficiales de Asuntos Económicos funcionarios de la misma Unidad, en el marco de las actividades del programa EUROCLIMA (CEC/14/001), y contó con el financiamiento de la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

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

Publicación de las Naciones Unidas

LC/TS.2017/58

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, junio de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-00590

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

Índice

Resumen	5	
Introducción	7	
I. Marco general y evidencia de los efectos macroeconómicos de un impuesto al carbono.....	9	
A. El impuesto al carbono en el análisis macroeconómico	9	
B. El impuesto al carbono y la reforma fiscal ambiental.....	14	
II. Meta-análisis de los efectos de un impuesto al carbono en América Latina.....	17	
III. Conclusiones	33	
Bibliografía.....	37	
Anexo.....	43	
Transferencia de beneficios: valores utilizados para las simulaciones del impacto potencial de un impuesto al carbono en América Latina	44	
Apéndice.....	45	
Cuadros		
Cuadro 1	Experiencia internacional en la aplicación de impuestos al carbono	15
Cuadro 2	Resumen de estudios incluidos en el meta-análisis	20
Cuadro 3	Resultados del meta-análisis: efectos aleatorios	22
Cuadro 4	Meta-análisis: Impacto estimado de un impuesto al carbono en el PIB.....	22
Cuadro 5	Descripción de las variables incluidas en el modelo de meta-regresión	24
Cuadro 6	Estadísticas descriptivas de las variables incluidas en la meta-regresión	24
Cuadro 7	Meta-regresión: Impacto macroeconómico de un impuesto al carbono	26
Cuadro 8	Meta-regresión: Impacto estimado de un impuesto al carbono sobre el PIB (en el largo plazo)	27
Cuadro 9	América Latina: Impacto estimado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB.....	29

Gráficos

Gráfico 1	Experiencia internacional: impuesto al carbono por tCO ₂ e	16
Gráfico 2	Distribución de las estimaciones por el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB.....	21
Gráfico 3	Distribución de las estimaciones del impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB.....	21
Gráfico 4	América Latina: Impacto estimado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB.....	30

Diagramas

Diagrama 1	Impactos macroeconómicos potenciales de un impuesto al carbono sobre el empleo, la inversión y producto agregado	11
Diagrama A1	Estructura general de un modelo de equilibrio general computable.....	46

Resumen

El principal objetivo de este estudio es analizar, de forma preliminar e hipotética, los potenciales efectos de un impuesto al carbono (CO₂) sobre el Producto Interno Bruto (PIB) en los países de América Latina, atendiendo a la inexistencia de evidencia empírica que permita evaluar dichas consecuencias y en el sentido de que, a la fecha, sólo México y Chile aplican un impuesto al carbono. En este sentido, la investigación se fundamenta en un meta-análisis y en una función de transferencia de beneficios en el que, la muestra de estudios, sugiere que el efecto de la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB es muy heterogéneo, oscilando entre -51% y +52% con un efecto medio negativo.

En otras palabras, de las 262 estimaciones incluidas, 212 sugieren un efecto negativo del impuesto al carbono sobre el PIB y las restantes, un impacto positivo. La distribución de las estimaciones presenta un notable sesgo a la izquierda, con un valor medio de -0,01%, y con una dispersión en el rango de -0,1% a +0,04%. De este modo, un impuesto promedio de 69 dólares por tCO₂e resultaría en una disminución del -0,62% del PIB (suponiendo que el impacto del impuesto aumenta linealmente). La media de la distribución sugiere que el impacto promedio para los países de la OCDE es de -0,01% por cada dólar de impuesto, mientras que para los países que no pertenecen a esta organización sería mayor, cercano al -0,02%. El estadístico Kolmogorov-Smirnov (K-S) para las dos muestras sugiere la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las distribuciones.

En el meta-análisis, se observa que el efecto agregado del impuesto sobre el PIB para toda la muestra es negativo (-0,01%). Sin embargo, el efecto es negativo para los países miembros de la OCDE (-0,036%) y positivo (0,006%) los que no lo son (efecto que no es estadísticamente diferente de cero). De este modo, un impuesto promedio de 54 dólares a precios de 2010 por tCO₂e para toda la muestra tendría un efecto promedio de -0,59% en el PIB de todos los países considerados. Por su parte, la aplicación de un impuesto de 58 dólares/tCO₂e en países desarrollados y que pertenecen a la OCDE, resultaría en una disminución de su PIB cercana al -2%. Por otro lado, el nivel de impuesto promedio de 50 dólares/tCO₂e para los países menos desarrollados podría resultar en un efecto positivo en el PIB, cercano a 0,3%.

Los resultados de la meta-regresión muestran que los efectos de un impuesto al CO₂ están condicionados a diversos factores como el nivel de desarrollo, la existencia de procesos de reciclaje fiscal, el nivel de apertura comercial y la estructura fiscal, donde los resultados de las simulaciones corresponden al efecto acumulado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB (con un promedio de 40 años de acuerdo a la muestra de resultados obtenidos por los modelos de EGC) y con base en los estudios utilizados para el meta-análisis.

Las simulaciones (basadas en los coeficientes de la meta-regresión), sugieren que de no aplicarse políticas de amortiguamiento, un impuesto medio de 50 dólares/tCO₂e resultaría en una disminución del -2% del PIB, porcentaje que podría aumentar o disminuir dependiendo del nivel de impuesto. En caso de considerarse la reutilización de ingresos fiscales, se observaría una variación positiva en el producto (doble

dividendo) de entre 1 y 2% para niveles bajos de impuesto. Tasas elevadas del mismo, resultarían en impactos negativos incluso considerando políticas de amortiguamiento. Por su parte, los resultados para países en desarrollo (no miembros de la OCDE) sugieren que la aplicación del impuesto resultaría en una variación positiva del PIB, aún sin considerar políticas de amortiguamiento o reciclaje fiscal. Por ejemplo, si se les aplicara un impuesto medio de 50 dólares/tCO₂e resultaría en una variación positiva del 2,5% del PIB, porcentaje que puede aumentar considerando la adecuada reutilización de los ingresos fiscales. Los resultados sugieren que, la aplicación de un impuesto en los países de América Latina tendría impactos positivos en el PIB, generando incentivos para la implementación de tecnologías más eficientes en el uso de energía y para el desarrollo de los sectores económicos que son menos intensivos en su uso.

Los resultados sugieren que, para varios países de América Latina, la aplicación de un impuesto al carbono podría resultar en un doble dividendo, incluso sin considerar un esquema de reutilización de ingresos fiscales y más aún, incorporando el proceso de reciclaje fiscal.

En este contexto, un bajo nivel de impuesto, que oscile entre los 5 y 10 dólares/tCO₂e, sería óptimo para Argentina, Brasil, Colombia, Honduras, Nicaragua, Perú y Uruguay, generando un efecto positivo de largo plazo sobre el PIB de entre 0,01 y 0,23%. Destacan Bolivia, Ecuador y Venezuela con un nivel de impuesto óptimo de entre 20 y 50 dólares por tCO₂e, con beneficios sobre el PIB de entre 1,16 y 3,01%. Por otro lado, los resultados para Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, Panamá y Paraguay sugieren que la implementación del impuesto tendría un efecto negativo sobre el PIB por lo que no podría aplicarse alguna política de reutilización de ingresos fiscales. En este caso, el impacto negativo sobre el PIB aumenta, conforme incrementa el nivel de impuesto. Los resultados deben tomarse con precaución en la medida en que parece existir un sesgo hacia la pertenencia de la OCDE (que no necesariamente refleja las condiciones de las economías).

Los resultados que incorporan esquemas de reutilización de ingresos fiscales para reducir impuestos sobre los factores productivos (reducción de impuestos sobre el capital y el trabajo) sugieren que el nivel óptimo, para la mayoría de los países de la región, estaría entre los 20 y 50 dólares/tCO₂e. Tal es el caso de Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y Uruguay. Incluso en Bolivia, Ecuador y Venezuela, el nivel podría llegar a los 75 dólares por tCO₂e. Destaca que en Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Paraguay, la aplicación del impuesto (sin considerar la reutilización de ingresos), resultaría en un impacto negativo sobre el PIB, aunque podrían existir beneficios si se consideran esquemas de reciclaje fiscal. En Chile, México y Panamá, persiste el impacto negativo aun si se toman en cuenta las alternativas de reutilización de ingresos. Para el caso de Chile y México, los resultados se asocian a que ambos son países de la OCDE y por tanto, el efecto negativo lo tienen asociado a este coeficiente en este sentido, los resultados deben tomarse con precaución. En el caso de Panamá, la explicación deriva del gran volumen de intercambio comercial el cual, equivale a casi todo su PIB, por lo que de no manejarse con propiedad, resultaría afectado por la pérdida de competitividad con el exterior.

En estos resultados se aprecia que los esquemas de reutilización de ingresos fiscales asociados a la disminución del nivel de impuestos a los factores productivos permitirían reducir los costos económicos de la implementación del impuesto al CO₂ e incluso, podrían derivar en un doble dividendo.

La aplicación de un impuesto al carbono debe considerarse (fundamentalmente) en el contexto de una Reforma Fiscal Ambiental (RFA) (Ekins, 2009; Bachus y Cao, 2011) definida como una reforma al sistema nacional de impuestos donde existe un cambio de la carga fiscal de los impuestos convencionales, como aquéllos sobre el trabajo o el capital, hacia actividades que dañan al ambiente (EEA, 2005). De esta forma, una RFA debe entenderse como un cambio en la estructura impositiva, y no como un incremento en los impuestos. En América Latina, la RFA puede basarse en la implementación de un impuesto al carbono y la reutilización de ingresos fiscales mediante la reducción de impuestos sobre los factores productivos e incluso, contribuyendo a generar un sistema de protección social. Ekins (2009) y Bachus y Cao (2011) señalan que para que una RFA sea efectiva, el diseño del instrumento es crucial, es decir, el nivel de impuesto ambiental debe ser el adecuado, y el esquema de reutilización de impuestos planteado debe maximizar los beneficios. De este modo, la aplicación de un impuesto al CO₂ en América Latina bajo el contexto de una reforma fiscal ambiental, que implique no solo la aplicación de un impuesto sino la transformación de la estructura fiscal, puede generar un doble dividendo, contribuyendo a atender el desafío del cambio climático y a promover el crecimiento económico.

Introducción

El cambio climático puede considerarse, desde una óptica económica, como la consecuencia de una externalidad negativa global que pone en riesgo la preservación de un bien público global como el clima (Stern, 2007, 2008) en la que, diversas actividades económicas emiten, sin costo económico alguno, gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. De esta forma, el cambio climático es consecuencia de fallas de mercado o de la inexistencia de mercados que llevan a que los agentes económicos no internalicen los costos económicos, sociales y ambientales que ocasionan (Cropper y Oates, 1992). Atender este desafío requiere, aplicar políticas públicas, tanto regulatorias como aquellas basadas en instrumentos de mercado, que permitan corregir las fallas o suplir su inexistencia (Gruber, 2009). Destaca, el uso de impuestos ambientales o verdes que tienen su fundamento teórico en los impuestos pigouvianos¹, en particular la aplicación de un impuesto al CO₂ (Gruber, 2009; Baumol y Oates, 1988).

Durante las últimas décadas se observa un interés creciente en diversos países por aplicar un impuesto al carbono (*carbon tax*), atendiendo a que es una política pública con un diseño simple y de amplio alcance. Sin embargo, persisten debates intensos, sobre los efectos finales y colaterales sobre variables como la trayectoria de emisiones de CO₂, el producto, la distribución del ingreso o la competitividad internacional de un país (Ekins y Speck, 2011). Es común que se argumente en contra su aplicación debido a sus potenciales efectos adversos sobre el crecimiento económico y la distribución. Sin embargo, el análisis de los efectos potenciales en América Latina es particularmente complejo; ya que no existe evidencia directa de su uso, con excepción de México y Chile. En este sentido, para una evaluación preliminar de los efectos en las economías latinoamericanas se utiliza el meta-análisis y la función de transferencia de beneficios (Stanley y Jarrell, 1989; Stanley, 2001; Bergstrom y Taylor, 2006; Stanley *et al.*, 2013) ya que, permiten identificar las consecuencias del impuesto (aunque sólo como una aproximación hipotética) y señalar (desde la óptica de la política pública) las oportunidades, los retos y las posibles áreas de conflicto. Cabe señalar que este estudio no pretende sustituir a un análisis posterior que utilice información real sobre la implementación del impuesto.

El principal objetivo de este trabajo es estimar, con base en un meta-análisis y una función de transferencia de beneficios, los posibles impactos de un impuesto al carbono, con y sin reciclaje fiscal, en el producto en los países de América Latina; destacando que se trata de economías con distintos niveles de desarrollo, de apertura comercial, estructura productiva e intensidad energética.

¹ Los impuestos Pigouvianos buscan gravar el daño marginal que ocasiona una externalidad negativa, dado un cierto nivel de actividad económica en el punto óptimo sobre el resto de las actividades económicas, el bienestar o los ecosistemas (Gruber, 2009; Baumol y Oates, 1988).

I. Marco general y evidencia de los efectos macroeconómicos de un impuesto al carbono

A. El impuesto al carbono en el análisis macroeconómico

Un impuesto al carbono (CO₂) consiste fundamentalmente en aplicar una tasa impositiva sobre el precio de todas las formas de combustibles fósiles² (petróleo, carbón y gas natural), dependiendo de su grado de emisión (definido en toneladas de CO₂ –tCO₂–)³. Normalmente, se traslada a los consumidores y se refleja en el precio de la electricidad, gasolina u otro tipo de productos o servicios intensivos en energía.

El análisis de los efectos totales de un impuesto al carbono incluye, en principio, al menos los siguientes elementos (Revelle, 2009; McKittrick, 2013; Ekins, 2009; Pearce, 1991; Repetto *et al.*, 1992; Goulder, 1995; Patuelli *et al.*, 2005):

- i) El principal efecto directo es aumentar los precios relativos de los bienes intensivos en CO₂ para desincentivar su demanda.
- ii) Los efectos indirectos implican estimular la demanda de combustibles más limpios y energías renovables y promover la demanda de productos menos intensivos en CO₂.
- iii) Existen otros efectos indirectos o colaterales sobre el producto, el empleo, la competitividad internacional, la distribución del ingreso o los ingresos fiscales y su reciclaje.

En este contexto, se considera que el impuesto al carbono tiene, en principio, un efecto directo y un efecto indirecto que se puede traducir en la presencia de dos dividendos relevantes, atendiendo a la posibilidad de reciclar ingresos fiscales, lo que conlleva a políticas públicas de doble dividendo (Ekins y Speck, 2011; Pearce, 1991; Repetto *et al.*, 1992; Fullerton, 1997):

- i) El primero es una reducción de las emisiones de CO₂.
- ii) El segundo, corresponde a los efectos potenciales positivos que puede ocasionar el impuesto sobre el producto, el empleo o la innovación tecnológica. Existiría un segundo dividendo

² En 2010, los combustibles fósiles representaron cerca del 74% del consumo de energía primaria en América Latina (Tissot, 2012).

³ En este documento, un impuesto al carbono se define mediante la imposición de un precio al carbono o utilizando una métrica directamente basada en él, es decir, un precio por tCO₂e. Por lo que otro tipo de mecanismo como el comercio de derechos de emisión, bonos de carbono o impuestos indirectos (*energy taxes*) no se considera.

fuerte en caso de que el impuesto al carbono ocasione efectos positivos sin considerar el impacto del reciclaje de los ingresos públicos. Mientras que un segundo dividendo débil, corresponde a la presencia de efectos colaterales positivos del impuesto una vez considerados los efectos del reciclaje de los nuevos ingresos fiscales (Goulder, 1995).

La evidencia internacional disponible sobre los efectos de un impuesto al carbono aún es incipiente y heterogénea, incluso persisten intensos debates que cuestionan la pertinencia de este gravamen atendiendo, en particular, a sus efectos adversos sobre el crecimiento económico, la competitividad o la distribución del ingreso⁴. A nivel agregado, la experiencia internacional indica que:

- i) El impuesto al CO₂ aumenta el precio relativo de los bienes intensivos en él y, de forma colateral, induce a un aumento de los precios generales, tal lo muestran Hoerner y Bosquet, (2001) y de Mooij, *et al.* (2012) en un meta-análisis. Este aumento del precio relativo se traduce en una reducción en la demanda de bienes intensivos en CO₂ que incide sobre la trayectoria de emisiones de GEI (Nakata y Lamont, 2001). El impuesto además, contribuye a reducir otras externalidades negativas tales como la contaminación atmosférica local o la congestión vehicular (Parry y Small, 2005).
- ii) Persiste un debate intenso y una alta incertidumbre sobre la magnitud de la sensibilidad de respuesta de la “demanda de carbono” ante cambios en su precio y por tanto, en la eficacia de esta medida, pero con diferencias entre países desarrollados y en desarrollo. En los primeros, se argumenta que los bienes y servicios con alto contenido de CO₂, como los combustibles fósiles, tienen una baja elasticidad precio de la demanda (Havranek *et al.*, 2012; Bruvoll y Larsen, 2004; Galindo *et al.*, 2015). Asimismo, es común que dicha baja esté acompañada de una alta elasticidad ingreso en la demanda de estos bienes y servicios. Ello lleva a que, en un entorno de rápido crecimiento económico, un impuesto al carbono sea insuficiente para controlar el aumento de las emisiones de GEI. En los países desarrollados se argumenta, por un lado, que los impuestos al carbono aplicados en Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia no han logrado mitigar las emisiones de CO₂ debido a las exenciones y variaciones de la tasa impositiva para ciertos combustibles y sectores (Bruvoll y Larsen, 2004; Vehmas, 2005). Por el otro lado, se argumenta que existe una alta elasticidad precio de la demanda en el contenido de bienes y servicios con CO₂ por lo que, un aumento en el impuesto puede incidir de manera significativa sobre la trayectoria de emisiones de GEI (Enevoldsen *et al.*, 2007).
- iii) Persiste un intenso debate y una alta incertidumbre sobre los costos económicos del cambio climático⁵. Ello deriva en una fuerte incertidumbre sobre el valor específico del impuesto al carbono⁶. Por ejemplo, Stern (2013) argumenta que, las recientes investigaciones, permiten pasar de 21 a 35 dólares por tCO₂ y que, en todo caso, debe darse mayor importancia a las estimaciones económicas en el contexto de escenarios climáticos extremos. Asimismo, Pindyck (2013) argumenta⁷ que existe un alto nivel de incertidumbre en las estimaciones sobre el valor del precio del carbono que oscila entre los 10 y 200 dólares por tCO₂. De este modo, es común simular diversos niveles de impuestos al carbono. Por ejemplo, se utilizan impuestos de 20, 30 y 40 dólares por tonelada de carbón⁸ que buscan estabilizar los niveles de concentraciones de CO_{2e} entre 450 y 550 partículas por millón (ppm) al 2020 (de Mooij *et al.*, 2012). En este sentido, Metcalf y Weisbach (2009) estiman los costos sociales del carbón en un rango de entre 3 y 95 dólares por tonelada. Asimismo, Cline (1992), Barker y Rosendahl (2000), Hoeller y Walling (1991) y Fankhauser (1994) sugieren impuestos de

⁴ Esta evidencia se basa en buena medida en simulaciones de modelos de equilibrio general computable (EGC).

⁵ En este sentido, no es estrictamente un impuesto Pigou en la medida en que desconoce el costo económico exacto que genera el cambio climático (Stern, 2013).

⁶ La conversión del impuesto implica que una tonelada de carbón es 3,67 toneladas de CO₂.

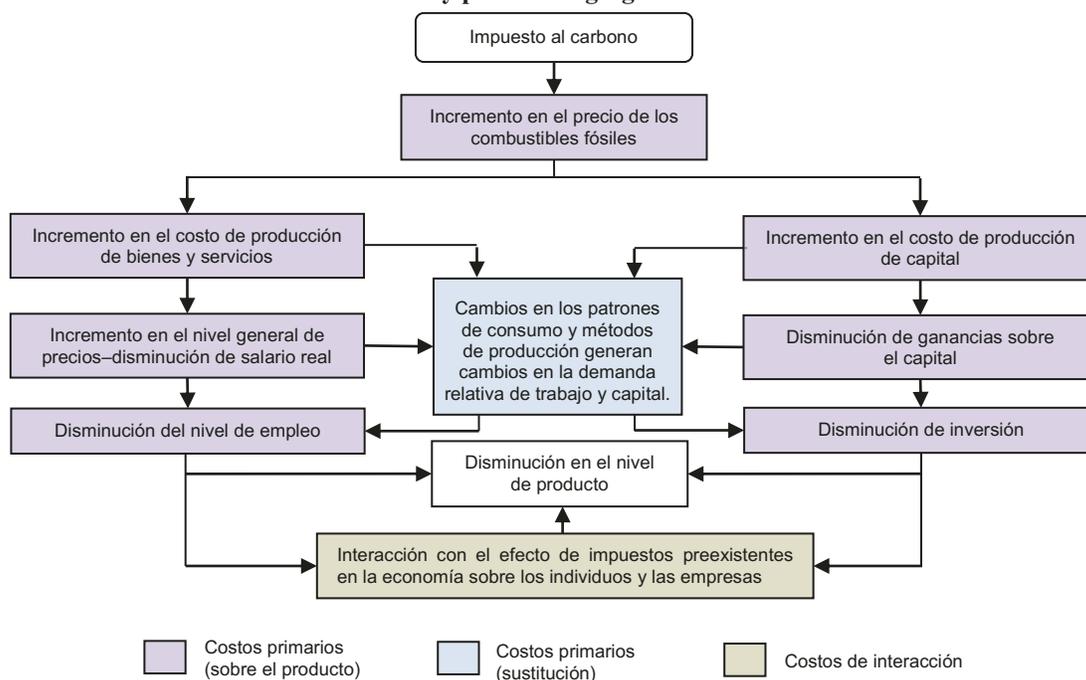
⁷ Pindyck (2013) argumenta que los modelos integrados conocidos como IAM tiene problemas en su fundamento con la teoría económica y de su construcción técnica que deriva en una alta incertidumbre sobre sus estimaciones.

⁸ Un impuesto de 250 dólares la tonelada de carbono implica un impuesto de 30 dólares al galón de petróleo y de 0,75 centavos al galón de petróleo y de 0,19 centavos de dólar el litro de gasolina (Cline, 1992).

100, 153, 3 000 y 203 dólares por tonelada de carbón para incidir en la trayectoria de las emisiones de GEI. Incluso, estudios sectoriales, como la aviación, siguieren impuestos al carbono de 10, 30 y 50 euros por tonelada (Wit *et al.* 2002; Wit, *et al.*, 2005) o incluso, de hasta 1 500 dólares (Michaelis, 19997; Olsthoorn, 2001).

- iv) El impuesto al carbono genera diversos efectos colaterales sobre el producto y el empleo. Los argumentos sobre los efectos colaterales sobre el empleo, la inversión y el producto agregado se sintetizan en el diagrama 1, en el que se observa que los impactos se trasladan a través de diversos mercados; ello, sin considerar los procesos de reciclaje de ingresos fiscales. Así, un impuesto al carbono genera costos económicos adicionales que pueden clasificarse en primarios y de interacción. Los primeros son aquellos que surgen directamente de la aplicación del impuesto y se subdividen en costos directos sobre el producto y costos de sustitución. Los costos directos se derivan del incremento en el precio de los combustibles fósiles que reduce el salario real y las ganancias sobre las inversiones lo que se traduce en una disminución del nivel de producto total. Los costos de sustitución ocurren cuando los cambios en la producción y la demanda del conjunto de bienes y servicios de la economía resultan en cambios en la demanda relativa de trabajo y capital; generando modificaciones en el salario real y en los retornos sobre el capital que inciden sobre el producto. Por su parte, los costos de interacción derivan de la forma en que el impuesto podría exacerbar los costos económicos asociados a los preexistentes (Ekins, 2009; CBO, 2013). Los costos de interacción generan reducciones en el empleo y en las inversiones ocasionadas por la aplicación del impuesto al carbono que interactúa con los efectos de los impuestos preexistentes en la economía. Ello ocasiona distorsiones adicionales en los mercados de trabajo y en la inversión. De este modo, la combinación de los efectos puede reflejarse, de manera desproporcionada, sobre algunos individuos industrias o regiones (Metcalf *et al.*, 2010; Dissou y Siddiqui, 2014; Flues y Thomas, 2015) y en donde se considera que el impacto neto final depende fundamentalmente del potencial proceso de reciclaje de los ingresos fiscales adicionales.

Diagrama 1
Impactos macroeconómicos potenciales de un impuesto al carbono sobre el empleo, la inversión y producto agregado



Fuente: Adaptado de CBO, (2013).

La evidencia internacional sugiere que un impuesto al carbono resulta en una reducción potencial del salario real y el nivel de inversión lo que conlleva, normalmente, a un impacto negativo pequeño sobre el producto (Ekins y Speck, 2011). Sin embargo, su magnitud es incierta; ello sin considerar el proceso de reciclaje de los ingresos por recaudación. Por ejemplo, Matsumoto y Fukuda (2006) simulan el impacto económico de un impuesto uniforme de 103 dólares/tCO₂, con un modelo de equilibrio general computable para varios países y sin considerar usos alternativos para los ingresos por recaudación. Los resultados indican que Australia sufriría el mayor impacto económico, con una disminución del 0,28% en su PIB, seguido de Japón, Canadá y Nueva Zelanda con una disminución de 0,17, 0,15 y 0,14%, respectivamente. Finalmente, Estados Unidos y China serían las economías menos afectadas con reducciones equivalentes al 0,08 y 0,01%, respectivamente. Debe considerarse que dichas evaluaciones no consideran los potenciales efectos positivos asociados a la hipótesis del doble dividendo, impulsada por Pearce (1991), Repetto *et al.* (1992) y Fullerton (1997).

El impacto del impuesto al CO₂ sobre el producto también depende de otros factores como la composición sectorial de la economía y la intensidad energética del producto (Vandyck y Regemorter, 2014; Rausch *et al.*, 2011). Además, Lim y Kim (2012) sugieren que los impactos del impuesto son más intensos para aquellos países con una mayor dependencia de las importaciones de gas y petróleo. Existen otros factores que influyen en la magnitud de los impactos económicos como la distribución de los beneficios ambientales y el grado en que los beneficios se capitalizan en el precio de la vivienda o el grado de apertura externa en el balance energético del país (Vandyck y Regemorter, 2014).

- v) El impuesto al carbono puede incidir negativamente sobre la competitividad internacional del país ya que, ocasiona un aumento de los precios nacionales (van der Bergh, 2013; Agnolucci, 2011; Ekins y Speck, 2011) y como el impuesto y la proporción de emisiones grabadas por los países y regiones es heterogéneo, se genera un aumento de precios con el mismo comportamiento. De esta forma, el impuesto aplicado unilateralmente incide negativamente en la competitividad internacional en concordancia con los diferenciales de precios. El impacto negativo es más fuerte en sectores intensivos en emisiones de CO₂ y en muchas ocasiones, se pretende amortiguar a través de excepciones fiscales a dichas actividades. Las diferencias entre países pueden ocasionar el fenómeno de *carbon leakage* que consiste en la reubicación de las actividades intensivas en carbono: de países con altos costos al carbono, a países con menores costos por emisiones. Situación que puede derivar en un incremento en las emisiones de aquellos países con políticas climáticas menos estrictas pero con un aumento potencial de su empleo y producto. En este contexto, las reformas fiscales suelen incluir medidas como exenciones y reducciones de la tasa impositiva para disminuir el impacto del impuesto sobre la competitividad de las empresas afectadas (Ekins y Barker, 2001). Por ejemplo, en Suecia las industrias manufactureras pagan únicamente una parte del impuesto al CO₂. En Dinamarca existe una tasa impositiva diferente para hogares, industrias con uso moderado de energía, e industrias con alta intensidad energética. En Noruega existen tasas impositivas diferenciadas de acuerdo al tipo de combustible fósil. En Finlandia se exenta al sector eléctrico del pago del impuesto. Asimismo, suelen aplicarse medidas de amortiguamiento de la carga fiscal dirigidas a empresas específicas. Las medidas incluyen además la reutilización de los ingresos fiscales para disminuir otro tipo de impuestos sobre los factores productivos buscando compensar el incremento en costos de producción asociados al impuesto al carbono. Por ejemplo, Dinamarca utiliza el reciclaje de impuestos al carbono para disminuir los costos laborales por sector o para invertir en proyectos de ahorro de energía (Banco Mundial, 2014). En Suecia se utiliza el reciclaje, a partir del 2000, para reducir los impuestos al trabajo (Government of Sweden, 2008). En la provincia de Columbia Británica, Canadá, se utilizan para reducir las tasas impositivas a los individuos y empresas (Daugberg y Pedersen, 2004). Por su parte, Noruega y Finlandia asignan toda su recaudación a los ingresos presupuestales del gobierno.

Sin embargo, en el largo plazo, los efectos del impuesto al CO₂ sobre la competitividad internacional son inciertos ya que pueden generar una mayor eficiencia en concordancia con la hipótesis de Porter (Barker y Kohler, 1998, Porter y van der Linde, 1995).

- vi) El impuesto al carbono tiene efectos heterogéneos sobre la distribución del ingreso atendiendo al tipo de bien gravado, el país o la presencia de reciclaje de impuestos. Se observa que los impuestos al carbono normalmente son más regresivos en países desarrollados y cuando se aplican a consumos generalizados como la electricidad. Por ejemplo, existe evidencia que sugiere que los impuestos al CO₂ son más regresivos en el Reino Unido, Irlanda, Alemania y Francia y menos regresivos en España o Italia (Symons *et al.*, 2002). Asimismo, se observa que los impuestos a la electricidad normalmente son más regresivos que aquellos impuestos al transporte (de Mooij *et al.*, 2012, Sterner, 2012). Además, al incorporar el proceso de reciclaje de impuestos al CO₂ es común que se observen efectos progresivos en la distribución del ingreso (Barker y Kohler, 1998; Labandeira y Labeaga, 1999).
- vii) La hipótesis del doble dividendo⁹ del impuesto al carbono surge atendiendo a que este gravamen se aplica con un enfoque de neutralidad fiscal; esto es, los ingresos del impuesto pueden ser utilizados para reducir otro tipo de impuestos que crean distorsiones en la economía (*revenue recycling*). De este modo, el impuesto al carbono podría generar beneficios económicos adicionales al eliminar dichas distorsiones. Así, existe un “primer beneficio” ambiental que consiste en la reducción de emisiones de GEI y existe un “segundo beneficio” como consecuencia de la reducción de las distorsiones en la economía generando mejoras en el bienestar (Jaeger, 2012).

La hipótesis de doble dividendo en la implementación de impuestos ambientales fue discutida inicialmente por Tullock (1967), Terkla (1984), Lee y Miseolek (1986). Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1990 cuando atrajo una mayor atención debido, en parte, al estudio de los impactos económicos del cambio climático. Desde entonces, existe un intenso debate e incertidumbre sobre la presencia de este doble efecto o sobre las condiciones que lo generan (Bosquet, 2000). Por ejemplo, Patuelli *et al.* (2005) argumentan, con un meta-análisis sobre los resultados obtenidos por estudios que se utilizan simulaciones para estimar los efectos económicos de una reforma fiscal ambiental y la probabilidad de que se observe un doble dividendo surge de factores como el tipo de impuesto, la forma en que los ingresos son reutilizados, y el tipo de modelo utilizado para la simulación.

De este modo, el análisis de los beneficios económicos potenciales de la reutilización de los ingresos tributarios por concepto de impuestos ambientales, sugiere, cinco usos alternativos de los ingresos: a) reducción en las contribuciones de seguridad social; b) reducción en impuestos sobre el ingreso; c) transferencia de los ingresos en un solo pago a los consumidores; d) reducciones a los impuestos en la ganancias sobre el capital; y e) reducciones en el impuesto al valor agregado (véase por ejemplo Hamilton y Cameron, 1994; Conrad y Schmidt, 1997; Edwards y Hutton, 1998; Bergin *et al.*, 2002; Devarajan *et al.*, 2009; Meng *et al.*, 2013). De este modo, el objetivo de una reforma fiscal ambiental o verde busca disminuir los impuestos en el empleo o el capital para amortiguar los impactos económicos negativos asociados a la implementación del impuesto (véase diagrama 1). Del mismo modo, transferir los ingresos tributarios a los consumidores en una sola exhibición puede contribuir a amortiguar el impacto negativo de un incremento en el nivel general de precios de la economía. Incluso, Vandyck y Regemorter (2014) sugieren amortiguar los impactos redistributivos potenciales de un impuesto al carbono mediante la reutilización de los ingresos tributarios de manera selectiva, enfocándose a los sectores más vulnerables mediante transferencias en forma de beneficios sociales.

Sin embargo, la evidencia disponible sobre el segundo dividendo es heterogénea y compleja. Por un lado, se argumenta que un impuesto al carbono aplicado en el contexto de una reforma fiscal ambiental integral puede generar un doble dividendo en el caso en que los ingresos adicionales se utilicen para disminuir otro tipo de impuestos que generan distorsiones en la economía (*revenue recycling*). Incluso, se

⁹ Goulder (1995) y Jaeger (2012) destacan la distinción de la hipótesis de doble dividendo en sentido estricto y en sentido débil. En este documento utilizamos el término *doble dividendo* para referirnos a su existencia en sentido estricto. Esto es, se aplican políticas de amortiguamiento que contrarrestan los costos económicos de la implementación de impuestos ambientales y que resultan en impactos positivos netos en la economía. El término *doble dividendo* en sentido débil es referido para señalar una reducción en los costos económicos de la implementación de impuestos ambientales sin que resulten en beneficios económicos netos en sentido estricto (véase Goulder, 1995 y Jaeger, 2012).

sugiere que el efecto del impuesto al CO₂ sobre el producto o el empleo resultaría positivo si se incluye el impacto del reciclaje de los ingresos públicos (Repetto y Austin, 1997; Ekins y Speck, 2011; Pearce, 1991; Barker *et al.* 2009, Jorgenson y Wilcoxon, 1993; Conrad y Schmidt, 1997; Garbaccio *et al.*, 1999; Kemfert y Welsch, 2000; Timilsina, 2007; Lim y Kim, 2012; Conefrey *et al.*, 2013; Mahmood y Marpaung, 2014; McKibbin *et al.*, 2015). Por ejemplo, Jorgenson y Wilcoxon (1993) y McKibbin *et al.* (2015) argumentan que un impuesto al carbono en Estados Unidos puede inducir un doble dividendo en caso de que las medidas de amortiguamiento se concentren en reducir los impuestos sobre el capital y las inversiones. En este escenario, los beneficios adicionales podrían alcanzar el 1% en el PIB al considerar un período de 25 a 30 años. En forma similar, Timilsina (2007) analiza a Tailandia y concluye que serían los recortes en los impuestos al trabajo los que tendrían el potencial de generar un doble dividendo estimado en un incremento del 0,8% del PIB. Además Hoerner y Bosquet, (2001), con un meta- análisis, muestran que el efecto es mayor sobre el empleo que sobre el producto considerando el proceso de reciclaje.

Por el otro lado, existe evidencia en contra de la presencia de un segundo dividendo. Por ejemplo, Lim y Kim (2012) analizan el impacto macroeconómico de la aplicación de un impuesto al carbono equivalente a 20 dólares/tCO₂ para Corea del Sur, utilizando un modelo de EGC y considerando dos políticas alternativas de reutilización de ingresos tributarios: transferencia de los ingresos en una sola exhibición a los consumidores y la aplicación de subsidios para promover actividades de investigación y desarrollo tecnológico. Sus resultados sugieren que la aplicación de una transferencia a los consumidores disminuye notablemente el costo de la aplicación del impuesto, sin embargo, el efecto total en la economía continúa siendo negativo, aunque poco significativo, con una reducción del PIB de entre 0,03 y 0,6%, y una disminución en las emisiones de CO₂ equivalente a 14%. Por otro lado, la aplicación de subsidios en investigación y desarrollo resultaría en un impacto positivo, aunque poco significativo, con un incremento en el PIB de entre 0,01 y 0,05%; sin embargo, nulificaría los efectos ambientales positivos con un incremento en las emisiones de CO₂ de apenas 0,3%. De este modo, Lim y Kim (2012) argumentan que la aplicación de un impuesto al carbono en la economía coreana no generaría un doble dividendo, al menos bajo las políticas de reutilización de ingresos analizadas. De manera similar, Lu *et al.* (2010) y Mahmood y Marpaung (2014) analizan la aplicación de un impuesto al carbón para China y Pakistán. Ambos concluyen que reutilizar los ingresos en forma de transferencia a los consumidores reduce significativamente el costo económico de la política impositiva (alrededor de un 0,14 y 1% del PIB para China y Pakistán, respectivamente, con base al escenario que no considera políticas de amortiguamiento), sin embargo, ello no es suficiente para generar beneficios económicos positivos (doble dividendo). Goulder (1995) analiza el impuesto al carbono para Estados Unidos considerando cuatro políticas de amortiguamiento: transferencias directas a los consumidores; disminución del impuesto sobre la renta; disminución de los impuestos corporativos y disminución de otro tipo de impuestos personales. En todos los casos, las políticas de amortiguamiento son efectivas para reducir el costo económico de la aplicación del impuesto, sin embargo en ningún caso existe evidencia para respaldar la existencia de beneficios económicos adicionales.

La evidencia empírica disponible muestra que la implementación de un impuesto al carbono ocasiona impactos económicos directos negativos y que la aplicación de políticas de amortiguamiento reduciría notablemente los costos económicos, incluso llevando a la presencia de un segundo dividendo, beneficio que está condicionado por factores como el tipo de medidas de amortiguamiento aplicadas o las características del impuesto o de la estructura fiscal y de la economía.

B. El impuesto al carbono y la reforma fiscal ambiental

La Agencia Europea de Medioambiente (EEA, por sus siglas en inglés) define a la Reforma Fiscal Ambiental (RFA) como una reforma del sistema nacional de impuestos donde existe un cambio en la carga fiscal de impuestos convencionales, como aquéllos sobre el trabajo o el capital, hacia impuestos sobre actividades que dañan al medio ambiente (EEA, 2005). De esta forma, una RFA debe entenderse como un cambio en la estructura impositiva, y no como un incremento en los impuestos. Las reformas fiscales verdes o ambientales, instrumentadas durante la década de los noventa, se convirtieron en una herramienta incipiente pero relevante en las políticas ambientales a nivel internacional y en donde el impuesto al

carbono se ha convertido en un elemento relevante en particular en países desarrollados (Jofra y Puig, 2014; CEF, 2015). Por ejemplo, Finlandia introdujo un impuesto al carbono a partir de 1990; más adelante (1991–1992) fue introducido en Noruega, Suecia y Dinamarca. Además, partir de 2008, se aplica en Suiza y en la Provincia de Columbia Británica, Canadá. Actualmente se utiliza en un importante número de países de Europa, así como en Chile¹⁰, México, Japón, Australia y Sudáfrica (a partir de 2016).

Cuadro 1
Experiencia internacional en la aplicación de impuestos al carbono

País/región	Fecha de inicio	Tasa impositiva por tCO ₂ e (en dólares)	Principales características
Finlandia	1990	Combustibles para calefacción: 41, Otros: 83.	Aplica a todos los consumidores de combustibles fósiles, exceptuando el consumo de energía para la producción de electricidad y aviación comercial.
Noruega	1991	De 4 a 69 dependiendo del tipo y uso de combustible.	Aplica a todo el consumo de aceite mineral, gasolina y gas natural. Se exenta a las empresas incluidas en el EU ETS, excepto a la industria de extracción de petróleo en yacimientos marinos.
Suecia	1991	168,00	Aplica a todos los combustibles fósiles utilizados como carburantes y para calefacción. Se exenta a las empresas manufactureras incluidas en el EU ETS.
Dinamarca	1992	31,00	Aplica a petróleo, carbón y electricidad. La tasa impositiva crece el 1,8% anual durante el 2008–2015.
Suiza	2008	68,00	Aplica al uso de combustibles fósiles para calefacción e iluminación, generación de electricidad en plantas termoeléctricas y de ciclo combinado. No aplica para carburantes. Se exenta del pago a las empresas incluidas en el EU ETS. Puede exentarse a empresas intensivas en el uso de energía y con riesgos de competitividad para establecer metas de reducción de emisiones (legalmente vinculantes) al 2020.
Columbia Británica (Canadá)	2008	28,00	La tasa impositiva se encuentra congelada desde 2012. El gas natural y propano para calefacción están exentos en un 80%. Los ingresos fiscales se han utilizado para reducir el impuesto sobre la renta y la aplicación de créditos fiscales; sin embargo, desde su introducción se produjo una disminución neta en los ingresos fiscales.
Islandia	2010	10,00	Aplica para el uso de gasóleo, diesel, gasolina, combustóleo, gas licuado de petróleo y otro tipo de hidrocarburos. También, a los combustibles importados o procesados al interior del país. Se exenta del pago a las empresas incluidas en el EU ETS.
Irlanda	2010	28,00	Aplica a todos los consumidores de gas natural y aceite mineral. Se exenta del pago a las empresas incluidas en el EU ETS.
Australia	2012	21,54	Refiere al Carbon Pricing Mechanism (CPM) que durante el 2012–2015 opera con una tasa fija que actúa de manera efectiva como un impuesto al carbono.
Japón	2012	2,00	Aplica a todo uso de combustibles fósiles, excepto para algunos conceptos de sectores productivos como la agricultura, el transporte y la producción de electricidad. Los ingresos son utilizados para financiar medidas que reducen las emisiones de CO ₂ relacionadas al uso de energía mediante innovación en tecnología, fomento el uso de tecnología eficiente en energía y el uso de energías renovables.
Reino Unido	2013	En 2014: 15.75 A partir de 2015: 29.93	Aplica al uso de combustibles fósiles para generación de electricidad. Se limita a Gran Bretaña. El impuesto se actualiza anualmente con base al precio del carbono.
Francia	2014	En 2015: 16 A partir de 2016: 24	Aplica al uso de gas natural, combustóleo y carbón que no se considera en el EU ETS. A partir de 2015 se extiende a los combustibles para transporte y calefacción.
México	2014	De 1 a 4 dólares, dependiendo del tipo de combustible.	Aplica a las ventas e importación de combustibles fósiles del sector manufacturero. No se aplica sobre el contenido total de carbono de los combustibles, sino al diferencial de emisiones respecto al uso de gas natural. Por lo tanto, éste último está exento de su aplicación. Las compañías sujetas al pago pueden pagar mediante certificados de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés) desarrollados en México.
Chile	2017	5,00	Impuesto anual que grava las emisiones de CO ₂ producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, son calderas o turbinas y que individualmente o en conjunto, suman una potencia térmica mayor o igual a 50MWt (megavatios térmicos), considerando el límite superior del valor energético del combustible. No aplica a fuentes fijas que operan en base a medios de generación renovable o no convencional, cuya fuente de energía primaria es la biomasa.

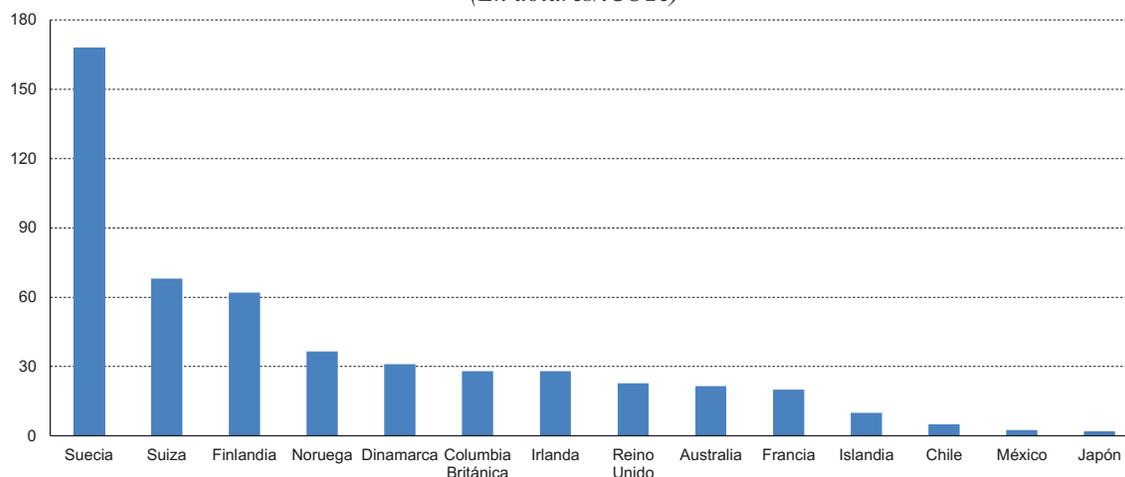
Fuente: Elaboración de los autores con base en información del Banco Mundial, (2014, 2015).

¹⁰ El impuesto inicia en 2017.

El cuadro 1 muestra un resumen de la experiencia internacional de impuestos directos al carbono, incluyendo la tasa impositiva que se establece en cada país, así como sus principales características. Actualmente, cerca de 40 países y más de 20 regiones sub-nacionales (ciudades, estados o regiones) han implementado algún tipo de mecanismo de precio al carbono incluyendo impuestos, comercio de derechos de emisión (*emission trading schemes*), bonos, entre otros. En conjunto, los instrumentos abarcan alrededor de 7 gigatoneladas (Gt) de CO₂e, es decir, cerca del 12% de las emisiones globales y al menos, 14 países ya cuentan con un impuesto vigente.

En general, se observa que en los países europeos el impuesto directo sobre el carbono considera una proporción de sus emisiones totales de GEI (entre 15 y 50%), además, exenta del pago a aquellos sectores que ya pagan un precio dentro del régimen de comercio de derechos de emisión de la Unión Europea (EU ETS, por sus siglas en inglés), evitando así una doble imposición fiscal. El gráfico 1, muestra la tasa de impuesto en dólares corrientes por tCO₂e aplicada en cada uno de los países. En general, los impuestos más elevados se aplican en los países europeos, específicamente en el norte de Europa. Suecia es el país con el impuesto más elevado que asciende a 168 dólares por tCO₂e, seguido de Suiza y Finlandia con un impuesto por arriba de los 60 dólares. Por el otro lado, en países como Islandia, México y Japón el impuesto es menor con precios por debajo de los 10 dólares¹¹. Además, se observa que cada vez más países, en especial los de la OCDE, han incorporado el impuesto al carbono. Sin embargo, la experiencia en el uso para América Latina y el Caribe (ALC) todavía escasa a excepción de México y Chile.

Gráfico 1
Experiencia internacional: impuesto al carbono por tCO₂e
(En dólares/tCO₂e)



Fuente: Elaboración del autor con base en información del Banco Mundial, (2014, 2015).

¹¹ Debe considerarse que países como Australia, México y Sudáfrica están considerando la posibilidad de reducir la tasa impositiva mediante el uso de bonos de carbono.

II. Meta-análisis de los efectos de un impuesto al carbono en América Latina

América Latina aún presenta importantes rezagos económicos y sociales, constituyendo una preocupación recurrente sobre los potenciales impactos económicos y sociales de las políticas públicas en beneficio del medio ambiente tales como el impuesto al carbono (Rodríguez, 2008; Yacolca, 2013). El análisis del potencial impacto de la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB en la región es, sin embargo, complejo ya que no existe evidencia empírica disponible para evaluarlo. De este modo, puede hacerse un análisis preliminar e hipotético a través de un meta-análisis y una función de transferencia (Stanley y Jarrell, 1989; Stanley, 2001; Bergstrom y Taylor, 2006).

El meta-análisis consiste en obtener un estimador ponderado del efecto combinado de la magnitud de los efectos o valores encontrados en cada estudio (Sterne, 2009). Ello permite realizar inferencias generales y explorar la heterogeneidad de los resultados entre los diferentes estudios para identificar las causas que originan la volatilidad de resultados (Glass *et al.* 1981; Schwartz, 1994; Saez *et al.* 2001; Borenstein *et al.* 2009). Además, utiliza estimaciones econométricas fundamentalmente con el modelo de efectos fijos o el modelo de efectos aleatorios (Galindo *et al.*, 2016). En ambos casos las ponderaciones se asignan utilizando la inversa de la varianza del error, de manera que se asigna un mayor peso a las estimaciones más precisas, es decir, aquéllas estimaciones que aportan mayor información al promedio ponderado (Glass *et al.* 1981). La principal diferencia en ambos modelos radica en los supuestos para definir la varianza del error. El modelo de efectos fijos asume que todos los efectos que se incluyen en el meta-análisis comparten una media poblacional común (ω), y las diferencias en los efectos individuales (θ_i) se deben únicamente a un error de muestreo (Stanley, 2001; Stanley y Doucouliagos, 2013; Galindo *et al.*, 2016). Sin embargo, los estudios suelen diferir en su implementación, diseño del modelo de GEM y población objetivo, entre otros factores. Por ello, los supuestos del modelo de efectos fijos resultan, en general, implausibles en las aplicaciones de meta-análisis en economía y se prefiere utilizar el modelo de efectos aleatorios.

Este último, permite que el efecto medio poblacional (ω) difiera entre los estudios, es decir ω_i . En este caso, se asume la existencia de una distribución de efectos medios poblacionales (ω_i), cuyo objetivo es estimar la media de la distribución (μ). La ecuación (1) muestra la estimación del modelo de efectos aleatorios (Stanley y Doucouliagos, 2013; Galindo *et al.*, 2016). Para el cual existen dos términos de error: el intra-estudio, ξ_i , que es la diferencia entre la media poblacional del estudio i (ω_i), y su media observada (θ_i): $\xi_i = \omega_i - \theta_i$; y el error entre estudios, φ_i , que es la diferencia entre la media de la distribución de efectos poblacionales (μ) y la media poblacional para el estudio i (ω_i), es decir, $\varphi_i = \mu - \omega_i$.

$$\theta_i = \mu + \varphi_i + \xi_i \quad \text{Ec. (1)}$$

Al existir dos términos de error que se suponen independientes entre sí, la varianza de los efectos individuales θ_i es el cuadrado de la suma de los dos tipos de variabilidad $\tau_i^2 + \sigma_i^2$.

El meta-análisis se aplica frecuentemente en el análisis económico, sin embargo, su utilización explícita en modelos de GEM es limitada. La revisión de la literatura económica permitió identificar dos aplicaciones en las que se analiza exclusivamente la heterogeneidad de resultados de modelos GEM: Boys y Florax (2007) y Hess y Cramon-Taubadel (2008). Los primeros, utilizan el meta-análisis para investigar la variabilidad que existe en las estimaciones de producción agrícola basadas en simulaciones de modelos GEM. Los resultados sugieren que la heterogeneidad de los resultados depende principalmente del número de productos agrícolas considerados en las simulaciones y de la especificación de la función de producción agrícola. Los autores concluyen que el uso del meta-análisis aplicado a resultados de modelos GEM ayuda a profundizar el análisis y a obtener resultados más precisos que los que se obtienen mediante un análisis de sensibilidad. Por su parte, Hess y Cramon-Taubadel (2008) presentan un meta-análisis basado en resultados de simulaciones de modelos GEM multi-país para investigar los factores que determinan los efectos de la liberalización comercial propuesta en la Agenda de Doha para el Desarrollo (Ronda de Doha) sobre el bienestar en Canadá. De forma específica, el estudio analiza los resultados de las simulaciones de modelos GEM en variables como la renta del consumidor, la renta del productor e impactos sobre el PIB. Los autores concluyen que los efectos de la agenda de Doha dependerán principalmente del nivel inicial de aranceles (efecto no lineal) y del volumen de comercio internacional que Canadá tenga con sus contrapartes.

Debe destacarse que la aplicación del meta-análisis a resultados de los modelos GEM tiene el reto de que no se dispone con un estimado de la precisión del efecto individual de cada estudio (θ_i). Esto es, en las estimaciones que provienen de la aplicación de modelos econométricos se utiliza el error estándar (σ_i) asociado a los parámetros econométricos, y se asigna un mayor peso a los estudios con mayor precisión (van den Bergh et al., 1997; Stanley y Doucouliagos, 2012). Sin embargo, en los modelos GEM no es posible recuperar un error estándar. Por ello, el meta-análisis presenta los resultados utilizando dos diferentes formas de asignar la ponderación a las estimaciones. En el primer caso, se utiliza el número de sectores económicos utilizados para la simulación del modelo GEM como una variable *proxy* de la precisión de las estimaciones; el supuesto es que aquellos estudios que utilizan una mayor desagregación de los sectores económicos pueden simular con mayor precisión los impactos macroeconómicos de un impuesto al carbono. Sin embargo, este método asigna un mayor peso a los estudios que aportan un mayor número de observaciones a la muestra, sin que necesariamente sean los más precisos. En el segundo caso, se asigna el mismo peso a todos los estudios, así la ponderación para cada estimador θ_i corresponde al inverso del número de observaciones que aporta cada estudio a la muestra ($1/N_i$).

La estimación de la meta regresión utiliza los supuestos del modelo de efectos aleatorios en forma similar que en la ecuación (1). Sin embargo, se reemplaza la media común μ por la media condicionada $\sum_{k=1}^m \beta_k X_k$. El objetivo es estimar μ como una función de un conjunto m de variables explicativas X y un vector β de parámetros asociados. De este modo, el modelo de la meta-regresión con efectos aleatorios se puede representarse como (Stanley y Doucouliagos, 2012; Cooper, 2016):

$$\theta_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^3 \beta_k X_k + \varphi_i + \xi_i \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde θ_i representa los efectos individuales observados en los diferentes estudios incluidos en la muestra; X_k representa al conjunto de variables explicativas incluidas en cada uno de los grupos de variables considerados para la meta-regresión (X_1, X_2, X_3), y β_k representa los parámetros asociados a cada variable. Al igual que en la ecuación (1), φ_i y ξ_i representan los términos de error asociados al análisis de meta-regresión para los que aplican los supuestos convencionales, $\varphi_i \sim iid(0, \tau^2)$ y $\xi_i \sim iid(0, \sigma_i^2)$.

La base de datos utilizada para el meta-análisis y la meta-regresión consta de 35 estudios sobre los efectos macroeconómicos de un impuesto al carbono con base en modelos de Equilibrio General Computable¹² publicados entre 1992 y 2015. Existen estudios que aplican modelos de GEM

¹² En el apéndice se incluye una breve descripción de los modelos de equilibrio general computable.

estáticos y dinámicos, con un espacio de tiempo para el análisis de los efectos del impuesto que oscila entre los 10 y 99 años; el nivel de agregación sectorial de la economía difiere entre los estudios y se aplica un monto de impuesto diferente para cada una de las estimaciones. La revisión dio como resultado 262 estimaciones del efecto de un impuesto al carbono sobre el PIB; de esta forma, existen estudios que aportan más de un estimador a la muestra, la cual considera un total de 31 países, donde la mayoría de los estudios corresponden a Estados Unidos (i.e. Jorgenson y Wilcoxon, 1993; Goulder, 1995; Goulder y Schneider, 1999; Goulder y Hafstead, 2013; McKibbin *et al.*, 2015), Australia (McDougall, 1993; McDougall, 1993b; The Allen Consulting Group, 2006; Meng *et al.*, 2013; Meng, 2015), y China (Zhang, 1998; Garbaccio *et al.*, 1999; Lu *et al.*, 2010). Otros estudios utilizan modelos de EGC regionales o multi-país que permiten analizar el impacto de un impuesto al carbono sobre los flujos internacionales de mercancías (i.e. Shah y Larsen, 1992; Conrad y Schmidt, 1997; Edwards y Hutton, 1998; Matsumoto y Fukuda, 2006; Matsumoto y Masui, 2011; Lim y Kim, 2012).

La muestra sugiere que el efecto de la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB es heterogéneo y oscila entre -51 y +52%. Estos resultados corresponden a simulaciones con diferentes supuestos sobre el precio de carbono por tCO₂e, por lo que es importante estandarizar los resultados para compararlos. De esta forma, el efecto de estudio (*effect-size*) para este meta-análisis se define como el impacto porcentual de la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB por cada dólar (a precios de 2010) de impuesto aplicado, y se denota como θ_i .

En este contexto, es importante hacer algunas precisiones sobre la selección de estudios y las estimaciones incluidas en el meta-análisis. Únicamente se consideran estudios que analicen el efecto de un impuesto directo al carbono, por lo que otro tipo de estudios que consideran impuestos indirectos como: un impuesto *ad valorem* al consumo de energía (véase por ejemplo Karadeloglou, 1992; Fitz-Gerald y McCoy, 1992; Bhattacharyya, 1996; Jansen y Klaassen, 2000; Edelman y Kilian, 2007) no se incluyen en la muestra final. Dada la definición del efecto de interés, tampoco se incluyen estudios que no contengan la información necesaria para poder estimar este efecto. Es decir, estudios que no presentan información sobre el monto de impuesto al carbono considerado para las simulaciones; aquéllos que definen el impuesto como una tasa porcentual sobre el precio de los combustibles y no incluyen explícitamente un precio al carbono por tCO₂e; aquéllos que evalúan el impacto del impuesto al carbono utilizando otras medidas de bienestar y no como porcentaje del PIB; y estudios que evalúan el precio al carbono en el marco de un régimen de comercio de derechos de emisión (ETS) y no como un impuesto al carbono. Ejemplos de los estudios excluidos en estos criterios son: Proost y Regemorter (1992), Glomsrod *et al.* (1992), Bye (2000), Wender (2001), Li (2002), Scrimgeour *et al.* (2005), Liang *et al.* (2007), Wissema y Dellink (2007), Barker *et al.* (2008) y Fisher (2008).

La información relevante sobre los estudios de meta-análisis se sintetiza en cuadro 2. Para facilitar la comparación, el precio de carbono utilizado en los diferentes estudios se presenta en dólares de 2010 por tCO₂e. En todos los casos el efecto θ_i representa la variación porcentual estimada del PIB dividido por el impuesto en tCO₂e, utilizado para las simulaciones, expresado en dólares de 2010. Para el caso de estudios que utilizan modelos dinámicos de EGC donde el impuesto se actualiza a lo largo del período de estudio, se consideró el valor promedio durante el período de análisis.

Las estimaciones basadas en modelos de GEM, sugieren que, en promedio, el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB sería de -0,009% por cada dólar de impuesto. De este modo, un impuesto promedio de 69 dólares por tCO₂e resultaría en una disminución del PIB de -0,62%, suponiendo que el impacto del impuesto en el PIB aumenta de forma lineal. Sin embargo, existe una amplia dispersión en las estimaciones que oscila entre un impacto medio de -0,054% sugerido por The Allen Consulting Group (2006) para el caso de Australia, a un efecto positivo de 0,126% que sugieren Garbaccio *et al.* (1999) para China. La distribución de las estimaciones incluidas en la muestra, excluyendo el 10% de observaciones extremas, se sintetiza en el gráfico 2. Del total de 262 estimaciones incluidas en el estudio, 212 sugieren un efecto negativo de un impuesto al carbono sobre el PIB, mientras que las 50 restantes sugieren un impacto positivo. La distribución de las estimaciones presenta un notable sesgo a la izquierda, con un valor medio de -0,01%, y una dispersión en el rango de -0,1 a +0,04%.

Cuadro 2
Resumen de estudios incluidos en el meta-análisis^{a, b, c}

No	Autor	Año	País	Número Est. ^a	Impuesto promedio ^b (en dólares de 2010/tCO ₂ e)	Efecto (θ_i) ^c			
						Media	D.S.	Min.	Max.
1	Shah y Larsen	1992	Multit-país	15	19,2	-0,001	0,002	-0,004	0,006
2	Jorgenson y Wilcoxon	1993	Estados Unidos	6	72,4	-0,014	0,015	-0,024	0,015
3	McDougall	1993	Australia	1	31,6	-0,028	–	-0,028	-0,028
4	McDougall	1993b	Australia	1	14,4	-0,033	–	-0,033	-0,033
5	Brendemoen y Vennemo	1994	Noruega	1	522,4	-0,006	–	-0,006	-0,006
6	Goulder	1995	Estados Unidos	4	43,2	-0,006	0,002	-0,009	-0,004
7	Conrad y Schmidt	1997	Multi-país	12	39,7	0,006	0,005	-0,007	0,013
8	McKitrik	1997	Canadá	8	35,9	-0,001	0,018	-0,026	0,016
9	Zhang	1998	China	6	61,8	-0,034	0,010	-0,044	-0,022
10	Edwards y Hutton	1998	Multi-país	2	60,4	-0,000	0,001	-0,001	0,000
11	Goulder y Schneider	1999	Estados Unidos	22	35,8	-0,007	0,001	-0,009	-0,005
12	Garbaccio, Ho y Jorgenson	1999	China	3	5,4	0,126	0,010	0,116	0,137
13	Kemfert y Welsch	2000	Alemania	4	30,3	0,017	0,063	-0,044	0,073
14	Bussolo y O'Connor	2001	India	6	111,1	-0,006	0,001	-0,008	-0,005
15	Bergin, FitzGerald y Kearney	2002	Irlanda	5	21,0	-0,015	0,012	-0,035	-0,006
16	Timilsina y Shrestha	2002	Tailandia	8	41,8	-0,003	0,001	-0,004	-0,001
17	Dessus y O'Connor	2003	Chile	1	196,1	-0,000	–	0,000	0,000
18	Kim, Tang y Lefevre	2004	Corea del Sur	2	253,3	-0,014	0,002	-0,015	-0,013
19	Labandeira, Labeaga y Rodríguez	2004	España	1	23,4	-0,030	–	-0,030	-0,030
20	Matsumoto y Fukuda	2006	Multi-país	12	119,6	-0,001	0,001	-0,002	0,000
21	The Allen Consulting Group	2006	Australia	2	197,6	-0,054	0,016	-0,065	-0,043
22	Van Heerden <i>et al.</i>	2006	Sudáfrica	4	6,7	-0,020	0,007	-0,030	-0,014
23	Timilsina	2007	Tailandia	3	70,4	0,002	0,009	-0,005	0,011
24	Palatnik y Shechter	2008	Israel	17	49,1	-0,006	0,003	-0,013	-0,003
25	Devarajan <i>et al.</i>	2009	Sudáfrica	2	20,5	-0,010	0,004	-0,013	-0,008
26	Kiuiila y Markandya	2009	Estonia	9	9,8	-0,033	0,068	-0,187	0,040
27	Lu, Tong y Liu	2010	China	10	24,2	-0,032	0,014	-0,072	-0,024
28	Matsumoto y Masui	2011	Multi-país	30	106,2	0,001	0,416	-0,673	1,757
29	Lim y Kim	2012	Multi-país	12	31,6	-0,007	0,022	-0,072	0,012
30	Goulder y Hafstead	2013	Estados Unidos	12	26,2	-0,015	0,007	-0,027	-0,001
31	Meng, Siriwardana y McNeill	2013	Australia	4	22,5	-0,025	0,015	-0,041	-0,004
32	Conefrey <i>et al.</i>	2013	Irlanda	3	27,7	0,003	0,011	-0,008	0,014
33	Mahmood y Marapaung	2014	Pakistán	27	49,1	-0,035	0,013	-0,048	0,001
34	McKibbin <i>et al.</i>	2015	Multi-país	4	25,6	0,003	0,024	-0,012	0,039
35	Meng	2015	Australia	3	19,5	-0,024	0,006	-0,032	-0,020
Total					69,3	-0,009	0,028	-0,673	1,757

Fuente: Elaboración de los autores con base en las fuentes citadas en el cuadro.

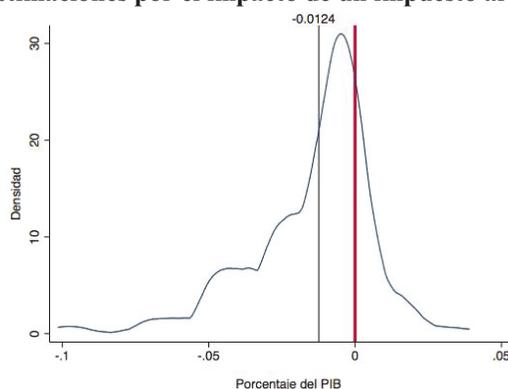
^a Número de estimaciones por estudio.

^b Los estudios utilizan un modelo dinámico de EGC. El impuesto se refiere al promedio para el período de estudio.

^c θ_i se refiere a variación porcentual del PIB por cada dólar (a precios de 2010) de impuesto aplicado.

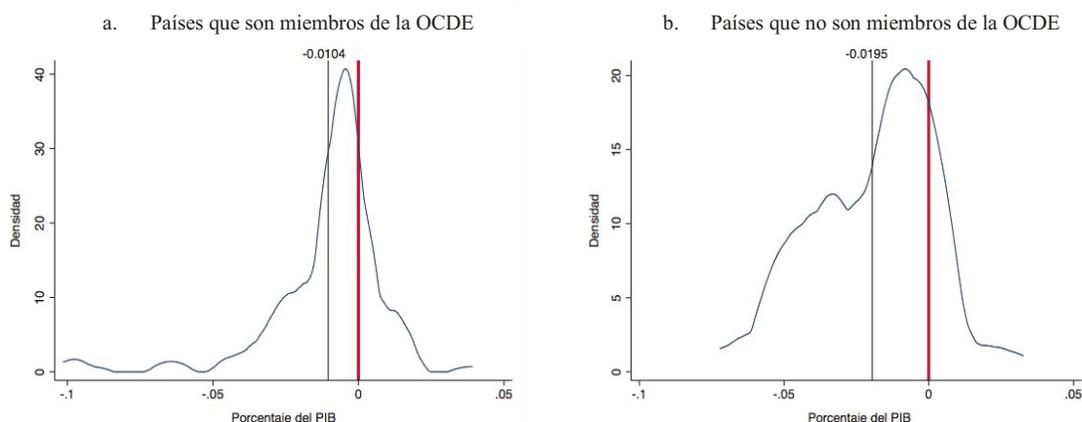
Asimismo, la densidad de distribución de las estimaciones para aquéllas que corresponden a países miembros de la OCDE (3a), y aquéllos que no (3b) se sintetizan en el gráfico 3. Se observa que de las 262 estimaciones incluidas en el meta-análisis, 138 corresponden a países miembros y 124 a países que no lo son. La distribución de ambas muestras presenta un sesgo a la izquierda lo que sugiere un efecto negativo del impuesto al CO₂ sobre el PIB. La media de la distribución sugiere que el impacto promedio del impuesto al carbono sobre el PIB para los países de la OCDE es de -0,01% por cada dólar de impuesto, mientras que para los países que no pertenecen a la organización sería cercano a -0,02%. El estadístico Kolmogorov-Smirnov (K-S) para las dos muestras sugiere la existencia de una diferencia estadística significativa entre las distribuciones.

Gráfico 2
Distribución de las estimaciones por el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB^a



Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de los estudios revisados.

Gráfico 3
Distribución de las estimaciones del impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB^a



Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de los estudios revisados.

^a La prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) para las muestras es de 0,29 valor que rechaza la hipótesis nula (H_0 : las muestras pertenecen a la misma población), con un 99% de confianza.

Los resultados de las pruebas de heterogeneidad del meta-análisis se presentan en la cuadro 3, donde τ^2 representa la varianza entre los estudios asociada a la estimación y utilizando el método de efectos aleatorios, Q -Stat representa el estadístico Q propuesto por Cochran (1954) que busca identificar la presencia de evidencia estadísticamente significativa de heterogeneidad entre la magnitud de los efectos incluidos en el meta-análisis¹³. Por último, I^2 se refiere al estadístico propuesto por Higgins *et al.* (2003) e indica la proporción de la variación observada en la magnitud de los efectos atribuible a la heterogeneidad en los estudios, esto es, la proporción de la varianza que no corresponde al error de muestreo¹⁴.

¹³ En esta prueba formalmente se plantea la hipótesis nula de que todos los estudios comparten un tamaño de efecto común (homogeneidad). Q sigue una distribución chi-cuadrada con $k - 1$ grados de libertad, donde k es el número de estudios incluidos en el meta-análisis. Q se estima formalmente como $Q = \sum_{i=1}^k W_i(\theta_i - \omega)^2$. Donde W_i es la ponderación asignada a cada estimador asumiendo un modelo de efectos fijos, θ_i representa el tamaño del efecto observado y ω es el efecto ponderado bajo el modelo de efectos fijos.

¹⁴ El estadístico I^2 se estima formalmente como $I^2 = \left(\frac{Q-df}{Q}\right) * 100$, donde Q se refiere al Q -Stat (Cochran, 1954) y df representa los grados de libertad. No se proponen valores críticos para este estadístico sin embargo, Higgins *et al.*, (2003) sugiere que valores en el orden de 25, 50 y 75% pueden ser considerados como un indicador de baja, moderada, y alta variación, respectivamente.

Cuadro 3
Resultados del meta-análisis: efectos aleatorios^{a, b}

Parámetro	Ponderación: número de sectores			Ponderación: número de observaciones (N_i)		
	Total	OCDE	No OCDE	Total	OCDE	No OCDE
μ^a	-0,011	-0,035***	0,006	-0,010	-0,037***	0,005
Intervalo de confianza (90%)	[-0,030; 0,008]	[-0,047; -0,023]	[-0,028; 0,041]	[-0,042; 0,022]	[-0,057; -0,017]	[-0,051; 0,061]
Pruebas de Heterogeneidad						
τ^2	0,018***	0,001***	0,033***	0,056***	0,006***	0,089***
Q -Stat ^b	2 302***	209***	2 044***	4 532***	341***	4 013***
I^2 (%)	88,7***	34,4***	93,9***	94,2***	59,8***	96,9***
N	262***	138***	124***	262***	138***	124***

Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de los resultados de las estimaciones del meta-análisis.

Nota: *** denota rechazo de la hipótesis nula con un 99% de confianza.

^a H0: El efecto combinado (promedio ponderado) no es estadísticamente diferente de cero.

^b Q-Stat se refiere al estadístico Q de Cochran, (1954). H0: Todos los estudios en la muestra comparten una media poblacional común.

Los resultados, sintetizados en el cuadro 3, muestran que el estadístico Q rechaza la hipótesis nula de homogeneidad en todos los casos, aunque existe una mayor dispersión en los resultados de los países que no pertenecen a la OCDE. Además, el estadístico I^2 sugiere, considerando el total de la muestra, que la mayor parte de la varianza es genuina o real; sin embargo, al dividir la muestra se observa que esta variación se encuentra asociada a las estimaciones de los países que no son miembros de la OCDE. Estos resultados sugieren que para el caso de los países miembros es únicamente una pequeña fracción de la dispersión la que no se asocia al error de muestreo, mientras que para el caso de países no miembros se sugiere que la mayor parte de la variación es genuina. Se concluye, que existe una mayor heterogeneidad en los efectos de un impuesto al CO₂ para los países en desarrollo. Destaca que, en general, el método de ponderación utilizado para las estimaciones no afecta las conclusiones, sin embargo los resultados presentan mayor heterogeneidad cuando se asigna el mismo peso a todos los estudios ($1/N_i$).

Los resultados del meta-análisis (utilizando el modelo de efectos aleatorios), muestran que el método de ponderación utilizado para las estimaciones no afecta los resultados de manera significativa. De esta forma, el meta-análisis que considera el total de la muestra, sugiere que el efecto promedio de un impuesto al carbono sobre el PIB es de -0,01% por cada dólar de impuesto, similar al promedio presentado en la cuadro y gráfico 2, aunque el efecto no es estadísticamente significativo. Sin embargo, al analizar la muestra diferenciando entre los estudios de países miembros de la OCDE y los que no lo son, se observa que el impacto para los primeros es significativo, alrededor de -0,036% por cada dólar de impuesto. En el caso de los países que no son miembros, el impacto promedio es positivo pero cercano a cero, alrededor de 0,006% por cada dólar de impuesto, aunque destaca que el efecto no es estadísticamente distinto de cero. Dichos resultados contrastan con el promedio de las distribuciones presentadas en el gráfico 3, que sugieren un impacto negativo en ambos caso, resaltando así, la relevancia del meta-análisis.

Cuadro 4
Meta-análisis: Impacto estimado de un impuesto al carbono en el PIB^a

Muestra	Impuesto promedio ^a	Total	OCDE	No OCDE
Total	54	-0,59%	-1,89%	0,32%
OCDE	58	–	-2,03%	–
No OCDE	50	–	–	0,30%

Fuente: Elaboración de los autores con base en los resultados del cuadro 3.

^a En dólares americanos a precios de 2010 por tCO₂e.

Las estimaciones, sintetizadas en el cuadro 4, sugieren que el impuesto promedio de la muestra total, equivalente a 54 dólares a precios de 2010 por tCO₂e, tendría un efecto promedio negativo de -0,59% en el PIB de todos los países considerados en la muestra. Por su parte, un impuesto promedio de 58 dólares/tCO₂e, considerado en las simulaciones para los países miembros de la OCDE, resultaría en una disminución del PIB cercana a -2% y un impuesto promedio de 50 dólares/tCO₂e para los países

menos desarrollados, no miembros de la OCDE, podría resultar en un efecto positivo en el PIB cercano a 0,3%. Los resultados reflejan la alta variabilidad de resultados, sugiriendo una alta incertidumbre y por tanto, las estimaciones se deben tomar con precaución, especialmente aquellas obtenidos para el grupo de países no miembros de la OCDE. Es importante señalar que las estimaciones asumen una relación lineal entre el nivel de impuesto y el porcentaje de variación en el PIB.

La meta-regresión permite para identificar los factores que influyen, de forma sistemática, en la heterogeneidad de los resultados tales como el nivel de desarrollo económico (Ciarli, 2010), la intensidad energética de la economía (Mulder *et al.* 2014; Pablo-Romero y De Jesús, 2016; Ozokcu y Ozdemir, 2017), la estructura económica y el tamaño del sector industrial, la carga fiscal de la economía (Brendemoen y Vennemo, 1994; Goulder y Schneider, 1999; Timilsina, 2007; Lim y Kim, 2012; Mahmood y Marpaung, 2014, Matsumoto y Fukuda, 2006; Palatnik y Shechter, 2008; Devarajan *et al.*, 2009) y la apertura comercial externa.

La base de datos utilizada incluye un total de 15 variables que se describen en el cuadro 5 y que se dividen en tres grupos de acuerdo a las causas potenciales de la heterogeneidad. El primer grupo (X_1), considera diferencias en las aplicaciones empíricas de los modelos de EGC e incluye tres variables que se controlan con el modelo GEM, el número de años sobre el que se analiza el impacto del impuesto y la tasa del mismo utilizada para las simulaciones. El segundo grupo (X_2), considera diferencias en los supuestos utilizados sobre el uso de los ingresos fiscales, e incluye seis variables dicotómicas que identifican el caso en que el estudio hace algún supuesto sobre la reutilización de los ingresos fiscales, y el tipo de política de reutilización que se aplica, por ejemplo, transferencia de los ingresos fiscales a los consumidores o las empresas, reducción de impuestos sobre los factores productivos (trabajo y capital) y disminución en el nivel general de impuestos de la economía. El grupo tres (X_3), incluye un total de seis variables que pretenden capturar diferencias en la estructura económica, nivel de desarrollo, carga impositiva, intensidad en el uso de energía, y desarrollo tecnológico de los países considerados.

El cuadro 6 muestra los estadísticos descriptivos de las variables. Destaca que el 60% de las estimaciones de la muestra corresponde a resultados obtenidos utilizando modelos GEM dinámicos y analizando el impacto de un impuesto al carbono de 54,5 dólares en promedio (a precios de 2010) por tCO₂e a lo largo de un período medio de 32 años. En el 56% de las estimaciones se realiza algún supuesto sobre la reutilización de los ingresos fiscales, en el 20% de los casos el supuesto de reutilización tiene que ver con la transferencia de los ingresos fiscales a los consumidores (categoría omitida de variable *dummy* en el modelo de meta-regresión), mientras que en el 19% de los casos se sugiere reducir los costos productivos de las empresas mediante transferencias directas (0,4%), o reducciones de la tasa impositiva sobre el trabajo o el capital (11 y 4%, respectivamente). Las variables se incluyen de forma separada para analizar la forma en que diferentes políticas de amortiguamiento (aplicadas a las empresas) pueden contribuir a disminuir los costos macroeconómicos de un impacto al carbono. Lo anterior, en concordancia con Lim y Kim (2012), Lu *et al.* (2010) y Mahmood y Marpaung (2014) quienes sostienen que la reducción de la carga impositiva sobre los factores productivos puede contribuir a la obtención de un doble dividendo, donde el efecto sobre el producto sería diferenciado dependiendo del factor productivo en donde se reduzca la carga impositiva.

La variable dependiente, *RedPIB_Imp*, corresponde a la variación porcentual del PIB por cada dólar de impuesto aplicado (a precios de 2010), al igual que en el meta-análisis. *Tasa_imp* se incluye para probar la hipótesis de una relación no lineal entre incrementos en la tasa impositiva y la magnitud del impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB. La variable *OCDE* se incluye como una variable proxy del nivel de desarrollo de los países de la muestra. *Int_energía* representa el consumo de energía por unidad de producto. *High_techX* es una variable proxy del nivel de desarrollo tecnológico de la economía. La variable *Ind_PIB* busca capturar la presencia de un efecto diferenciado entre economías con diferente estructura sectorial. Se incluye la proporción de los ingresos fiscales con respecto al PIB, *IngFisc_PIB*, como una variable proxy de la carga fiscal pre-existente en la economía antes de la implementación del impuesto al carbono, lo anterior para medir la importancia de los costos de interacción asociados a la implementación de un impuesto al carbono. Finalmente, la variable *Ap_comercial* se incluye para probar la hipótesis del mayor impacto económico de un impuesto al carbono en los países con una mayor intensidad de comercio exterior debido a la pérdida de competitividad de sus productos en el mercado exterior.

Cuadro 5
Descripción de las variables incluidas en el modelo de meta-regresión^{a, b, c}

Grupo	Variable	Descripción
θ_i	<i>RedPIB_Imp</i>	Variación porcentual en el PIB por cada dólar de impuesto aplicado (a precios de 2010).
X_1	<i>Dinámico</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si la estimación pertenece a un modelo de EGC dinámico.
	<i>Periodo_est^d</i>	Número de años que considera la simulación del impuesto.
X_2^b	<i>Tasa_imp</i>	Precio del carbono considerado en las simulaciones y expresado en dólares de 2010 por tCO ₂ e.
	<i>Reuso_ing</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si el efecto considera algún supuesto sobre la reutilización de los ingresos fiscales.
	<i>Transf_emp</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si refiere a una política de reutilización de transferencia directa de los ingresos fiscales a las empresas.
	<i>Red_ImpK</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si refiere a una política de reutilización y reducción de impuestos sobre el capital a las empresas.
	<i>Red_ImpL</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si refiere a una política de reutilización y reducción de impuestos sobre el trabajo a las empresas.
	<i>Red_ImpG</i>	Variable <i>dummy</i> =1, si refiere a una política de reutilización y reducción del nivel gral. de impuestos en la economía.
X_3^c	<i>OCDE</i>	Variable <i>dummy</i> =1, se el país pertenece a la OCDE.
	<i>Int_energía</i>	Intensidad energética de la economía (MJ/PIB en dólares de 2011).
	<i>High_techX</i>	Exportaciones de alta tecnología como proporción del total de exportaciones del sector manufacturero (%).
	<i>Ind_PIB</i>	PIB industrial como proporción del PIB total (%).
	<i>IngFisc_PIB</i>	Ingresos fiscales totales como proporción del PIB.
	<i>Ap_comercial</i>	Comercio exterior total (exportaciones + importaciones) como proporción del PIB.

Fuente: Elaboración de los autores.

^a Para modelos estáticos de EGC que estiman el impacto del impuesto en un solo período con un rango medio de 10 años.

^b La categoría omitida corresponde a la reutilización de ingresos a través de transferencias directas a los individuos.

^c Los valores que toman las variables del grupo X_3 corresponden al estado de la economía en el año de referencia de la matriz insumo-producto utilizada para las estimaciones.

Cuadro 6
Estadísticas descriptivas de las variables incluidas en la meta-regresión

Grupo	Variable	N	Media	D.S.	Min.	Max.
θ_i	<i>RedPIB_Imp</i>	262	-0,009	0,028	-0,67	1,75
	<i>Dinámico</i>	262	0,690	0,460	0,00	1,00
X_1	<i>Periodo_est</i>	262	32,200	30,400	10,00	99,00
	<i>Tasa_imp</i>	262	54,500	57,700	1,07	522,40
X_2	<i>Reuso_ing</i>	262	0,560	0,490	0,00	1,00
	<i>Transf_emp</i>	262	0,004	0,060	0,00	1,00
	<i>Red_ImpK</i>	262	0,040	0,192	0,00	1,00
	<i>Red_ImpL</i>	262	0,110	0,310	0,00	1,00
	<i>Red_ImpG</i>	262	0,110	0,310	0,00	1,00
	<i>OCDE</i>	262	0,530	0,500	0,00	1,00
X_3	<i>Int_energía</i>	262	7,270	3,290	3,00	20,60
	<i>High_techX</i>	262	17,700	10,900	0,07	45,90
	<i>Ind_PIB</i>	262	29,300	7,600	20,30	46,80
	<i>IngFisc_PIB</i>	262	14,900	6,340	7,90	32,30
	<i>Ap_comercial</i>	262	51,100	31,400	12,40	146,50

Fuente: Elaboración de los autores.

Se estimaron dos modelos econométricos utilizando diferentes esquemas de ponderación para los estudios de la muestra. La interpretación de resultados se realizó con ponderaciones de acuerdo al total de estimaciones que cada estudio aporta a la muestra, ya que este modelo presenta un mejor ajuste.

Los resultados de la meta-regresión, utilizando dos esquemas para asignar las ponderaciones a las estimaciones se presentan en el cuadro 7. La columna (1) muestra las estimaciones utilizando el número de sectores económicos del modelo GEM como variable *proxy* de la precisión de las estimaciones. En la columna (2), se asigna el mismo peso a todos los estudios utilizando el inverso del número de observaciones que cada estudio aporta a la muestra ($1/N_i$). En general, los resultados con ambos esquemas son similares. Para la interpretación se utilizan los resultados de la columna (2) que corresponden al modelo econométrico que presenta un mejor ajuste.

Los resultados del cuadro 7 muestran que los estudios con modelos dinámicos GEM tienen un menor impacto negativo sobre el PIB de un impuesto al carbono; posiblemente porque permiten considerar aspectos como el progreso tecnológico y la retroalimentación entre los diferentes sectores de la economía. Los resultados sobre los supuestos entre las diferentes políticas de reutilización de los ingresos fiscales indican que las políticas de amortiguamiento basadas en transferencias directas o reducción de los impuestos directos a los consumidores no inciden significativamente en la magnitud del impacto del impuesto al CO₂ sobre el PIB. Los resultados obtenidos confirman lo que sugieren Jorgenson and Wilcoxon (1993), Timilsina (2007) y McKibbin *et al.* (2015) que la reutilización enfocada a disminuir el gravamen sobre los factores productivos reduce de manera significativa los costos macroeconómicos asociados. De esta forma, los coeficientes obtenidos en la meta-regresión indican que, en el caso de que la política de amortiguamiento reduzca los impuestos sobre el capital, el impacto porcentual del impuesto sobre el PIB disminuye en 0,08 unidades porcentuales, mientras que si la reutilización consiste en disminuir los impuestos sobre el trabajo, el impacto negativo de cada dólar de impuesto sería menor en 0,06 unidades porcentuales. Sin embargo, los resultados sugieren que la reducción de los impuestos sobre el capital de las empresas reduce en mayor medida los efectos negativos del impuesto al carbono sobre el PIB, es importante considerar que el error estándar de este parámetro es elevado, por lo que el coeficiente es significativo con un 90% de confianza aunque la diferencia entre coeficientes no lo parece. No obstante que la reducción del costo macroeconómico es menor, si se reducen los impuestos sobre el trabajo, la precisión del parámetro es mayor (significativo con un 95% de confianza) y en América Latina, la concentración del ingreso es muy alta por lo que el reciclaje fiscal al trabajo tiene efectos adicionales (favorables). Asimismo, el coeficiente asociado a la variable *Tasa_imp* indica una relación no lineal entre incrementos en la tasa impositiva y el impacto de un impuesto al carbono; así, el coeficiente negativo (estadísticamente significativo) sugiere que el impacto marginal de un impuesto al carbono es mayor a medida que se incrementa su nivel. Lo que sugiere que los agentes se ajustan de manera no lineal a las diferentes magnitudes del impuesto.

El grupo de variables X_3 , que captura las diferencias en la estructura económica de los países incluidos en la muestra, permite identificar que el coeficiente asociado a la variable *OCDE* es positivo y estadísticamente significativo; lo que sugiere que el impacto sobre el PIB de un impuesto al carbono es mayor en las economías desarrolladas. Por su parte, el coeficiente de la variable *Int_energía* sugiere que el costo macroeconómico del impuesto es menor en los países que tienen mayor intensidad energética del producto. Este resultado puede parecer contra-intuitivo, sin embargo, Mahmood y Marpaung (2014) sugieren que estos países tienen un mayor margen para realizar mejoras en los procesos productivos disminuyendo los costos económicos de un impuesto al carbono. Por su parte, el coeficiente de la variable *IngFisc_PIB* apunta a que el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB es menor en los países que tienen mayor carga fiscal, resultado relativamente contrario a lo que sugieren autores como Metcalf *et al.* (2010), Dissou y Siddiqui, (2014) y Flues y Thomas (2015), sobre la interacción del impuesto al carbono con los impuestos preexistentes en la economía. Por tanto, es importante considerar la evidencia y profundizar en el debate de este tema. Finalmente, el efecto negativo para países con mayor apertura comercial confirma la pérdida de competitividad en las exportaciones, tema ampliamente discutido en la literatura (Ekins, 2009; CBO, 2013).

Los resultados de la meta-regresión sugieren que la heterogeneidad en las estimaciones se explica por características propias de la muestra como: el uso de modelos dinámicos en lugar de estáticos, el nivel de impuesto sugerido en las simulaciones, los supuestos sobre la reutilización de los ingresos fiscales, el nivel de desarrollo (medido con una variable dummy que identifica a los países miembros de la OCDE), la intensidad energética, la estructura productiva, el tamaño del sector industrial, la carga fiscal de la economía y el grado de apertura comercial.

La cuadro 8, muestra la variación estimada del PIB bajo tres escenarios sobre el nivel de impuesto al carbono de 20, 50 y 100 dólares por tCO₂e; y tres escenarios de reutilización de ingresos: 1) no considera reutilización, 2) reutilización mediante la reducción de impuestos sobre el capital y 3) reutilización mediante la reducción de impuestos sobre el trabajo. Los resultados se muestran en tres columnas: la (1) considera el valor medio de las variables de toda la muestra, mientras que para las columnas (2) y (3) se sustituye el valor medio dependiendo si el grupo es de países miembros o no miembros de la OCDE. Los resultados suponen el uso de un modelo GEM, por lo que la variación estimada del PIB corresponde a la divergencia de largo plazo (promedio de 40 años de acuerdo a los resultados obtenidos por los modelos GEM) del escenario con impuesto, respecto al escenario base (sin impuesto).

Cuadro 7
Meta-regresión: Impacto macroeconómico de un impuesto al carbono^a

Grupo	Variables	(1)	(2)
		En número de sectores	En número de observaciones (N_i)
β_0	<i>Constante</i>	-0,14700*** (0,02350)	-0,25200*** (0,02890)
	<i>Dinámico</i>	0,05500*** (0,01150)	0,05340*** (0,01850)
X_1	<i>Periodo_est</i>	-0,00022 (0,00015)	0,00032 (0,00021)
	<i>Tasa_imp</i>	-0,00024*** (5,31e-05)	-0,00124*** (9,47e-05)
X_2	<i>Reuso_ing</i>	0,01120 (0,00795)	0,00626 (0,01150)
	<i>Transf_emp</i>	-0,03410 (0,08440)	-0,09260 (0,10200)
	<i>Red_ImpK</i>	-0,01170 (0,01240)	0,08090* (0,04260)
	<i>Red_ImpL</i>	-0,01050 (0,01390)	0,06140** (0,02400)
	<i>Red_ImpG</i>	-0,00199 (0,01070)	-0,00710 (0,02010)
X_3	<i>OCDE</i>	-0,04550*** (0,00917)	-0,14200*** (0,01240)
	<i>Int_energía</i>	0,00329*** (0,00077)	0,02090*** (0,00127)
	<i>High_techX</i>	0,00012 (0,00045)	0,00033 (0,00053)
	<i>Ind_PIB</i>	0,00208*** (0,00061)	0,00235*** (0,00076)
	<i>IngFisc_PIB</i>	0,00324*** (0,00078)	0,00738*** (0,00092)
	<i>Ap_comercial</i>	-0,00020 (0,00016)	-0,00071*** (0,00022)
	Observaciones	262	262
χ^2	132,63000***	673,89000***	

Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de los resultados de las estimaciones de la meta-regresión.

^a Los errores estándar se muestran entre paréntesis. *, **, ***, refieren al rechazo de la hipótesis nula con un 90, 95 y 99% de confianza, respectivamente.

Las simulaciones basadas en la columna (1), que consideran la muestra total de países incluidos en el meta-análisis, sugieren que, de no aplicarse políticas de amortiguamiento, un impuesto medio de 50 dólares/tCO₂e resultaría en una disminución del PIB de -2%, porcentaje que podría aumentar o disminuir dependiendo del nivel de impuesto. En caso de considerarse la reutilización de ingresos fiscales para reducir la carga impositiva de las empresas es posible reducir los costos macroeconómicos del impuesto, e incluso se observa una variación positiva en el producto (doble dividendo) de entre 1 y 2% para niveles bajos de impuesto. Tasas elevadas de impuesto resultan en impactos negativos sobre el PIB incluso considerando políticas de amortiguamiento. Los resultados se encuentran en el rango de valores sugeridos por el meta-análisis. Por su parte, los resultados para países en desarrollo (no miembros de la OCDE) sugieren que la aplicación de un impuesto al carbono resultaría en una variación positiva del PIB, aún sin considerar políticas de amortiguamiento o reciclaje fiscal. Aunque el resultado parece contra-intuitivo, es consistente con la sugerencia de Mahmood y Marpaung (2014): en países en vías de desarrollo existe un amplio potencial para la mejora de procesos productivos y la adaptación de nuevas tecnologías por lo que un impuesto al carbono generaría incentivos para implementar medidas que podrían resultar en impactos positivos en el PIB, aun sin políticas de amortiguamiento. Por ejemplo, un impuesto medio de 50 dólares/tCO₂e en países en desarrollo resultaría en una variación positiva del PIB de 2,5%, porcentaje que podría aumentar considerando la apropiada reutilización de los ingresos fiscales.

Cuadro 8
Meta-regresión: Impacto estimado de un impuesto al carbono sobre el PIB (en el largo plazo)

Impuesto (en dólares/tCO ₂ e)	(1) Medio (en porcentajes)	(2) OCDE (en porcentajes)	(3) No OCDE (en porcentajes)
<i>Sin reutilización</i>			
20	-0,1	-1,7	1,7
50	-2,0	-6,1	2,5
100	-10,2	-18,3	-1,2
<i>Disminución ImpK</i>			
20	1,5	-0,1	3,3
50	2,0	-2,0	6,4
100	-2,1	-10,2	6,9
<i>Disminución ImpL</i>			
20	1,2	-0,4	2,9
50	1,0	-2,9	5,4
100	-4,1	-12,2	4,9

Fuente: Elaboración de los autores con base en los resultados del cuadro 7.

Los resultados sugieren que la aplicación de un impuesto al carbono para los países de América Latina podría tener impactos positivos en el PIB ya que generaría incentivos para la implementación de nuevas tecnologías, más eficientes en el uso de energía y generaría incentivos para el desarrollo de otros sectores de la economía menos intensivos en el uso de energía.

Las estimaciones del meta-análisis pueden utilizarse para la transferencia de coeficientes al sustituir los valores medios de las diferentes variables con el fin de identificar el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB. Se consideran únicamente aquellas variables que inciden significativamente sobre dicho impacto. La especificación econométrica utilizada corresponde a la columna (2) —del cuadro 7—, la cual presenta la mayor bondad de ajuste. Es importante destacar que la variable dependiente para el meta-análisis y por lo tanto, para la transferencia de coeficientes, es el impacto del impuesto al carbono sobre el PIB, por cada dólar de impuesto. El supuesto utilizado para las simulaciones es que el valor de la constante β_0 se considera para todos los países y todas las simulaciones. El grupo de variables X_1 considera diferencias en las aplicaciones empíricas de los modelos GEM. Para las simulaciones aplicadas a los países de América Latina se asumen resultados de modelos dinámicos, por lo que la variable *Dinámico* toma el valor de 1 en todas las simulaciones.

Lo anterior implica que los resultados de las simulaciones corresponden al efecto acumulado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB (promedio de 40 años de acuerdo a la muestra de resultados obtenidos por los modelos GEM), con base en los estudios utilizados para el meta-análisis. Sobre el monto sugerido del impuesto para los países de la región, se plantean seis escenarios para la variable *Tasa_imp*. Siguiendo la línea de los estudios existentes, el impuesto se define en dólares/tCO₂e y toma los siguientes valores: 5, 10, 20, 50, 75 y 100, con lo que se considera (casi en su totalidad) el rango de impuestos al carbono vigentes en los diferentes países que han aplicado estas medidas. El grupo de variables X_2 considera diferencias en los supuestos utilizados sobre el uso de los ingresos fiscales. Los resultados del meta-análisis sugieren que la reutilización de los ingresos fiscales en forma de transferencias directas a los individuos (*Reuso_ing*), transferencias directas a las empresas (*Transf_emp*), y la reducción general del nivel de impuestos de la economía (IVA) (*Red_ImpG*), no tienen un efecto significativo en los costos sobre el producto de un impuesto al carbono. Sin embargo, los resultados señalan que esquemas de reutilización de ingresos que consideren la reducción de impuestos sobre los factores productivos como el capital (*Red_ImpK*) y el trabajo (*Red_ImpL*) contribuyen de forma significativa a disminuir el costo económico de la implementación de un impuesto al carbono. Por ello, el ejercicio de transferencia de coeficientes para los países de América Latina considera tres escenarios sobre la reutilización de impuestos. Primero, uno que no considera ningún esquema de reutilización de impuestos, asumiendo que los ingresos fiscales provenientes de la aplicación del impuesto al carbono forman parte del presupuesto general del gobierno central, o que se estableció un esquema de

reutilización basado en transferencias directas a individuos, empresas o reducción general del nivel de impuestos, de forma que el uso de los ingresos fiscales no influye de manera significativa sobre el costo macroeconómico del impuesto al carbono. De esta manera, en el este escenario las variables *Red_ImpK* y *Red_ImpL* toman un valor de cero. El segundo escenario considera la reutilización de ingresos mediante la reducción de impuestos sobre el capital; la variable *Red_ImpK* toma el valor de uno y la variable *Red_ImpL* el valor de cero. El tercer escenario considera la reutilización de ingresos mediante la reducción de impuestos sobre el trabajo; la variable *Red_ImpL* toma un valor de uno y la variable *Red_ImpK* el valor de cero. De acuerdo a los resultados, los dos escenarios de reutilización de ingresos (*Red_ImpK* y *Red_ImpL*) resultan en la disminución del costo macroeconómico asociado al impuesto.

Finalmente, el grupo de variables X_3 considera diferencias en la estructura productiva, nivel de desarrollo, carga impositiva e intensidad en el uso de energía de los diferentes países incluidos en la muestra. Para el ejercicio de transferencia de coeficientes los supuestos sobre estas variables corresponden al valor correspondiente para cada uno de los países de América Latina. La información estadística utilizada proviene de cifras oficiales publicadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Banco Mundial. De esta forma, la variable *OCDE* toma el valor de uno, únicamente para las simulaciones de Chile y México, en todos los demás casos esta variable toma el valor de cero. Las variables *Int_energía*, *Ind_PIB*, *IngFisc_PIB* y *Ap_comercial* toman los valores específicos para cada país presentados en el cuadro del anexo.

Los resultados por países, considerando el monto total de cada escenario de impuesto se presentan en el cuadro 9 y el gráfico 4; sugieren que la aplicación de un impuesto al carbono podría resultar en un doble dividendo para varios países de América Latina, incluso sin considerar un esquema de reutilización de ingresos fiscales. Las negritas indican el nivel óptimo de impuesto, es decir el nivel de impuesto que maximizaría los beneficios económicos en términos del PIB. De esta forma, se observa (sin considerar un esquema de reutilización de ingresos), que un nivel bajo de impuesto de entre 5 y 10 dólares por tCO₂e sería el óptimo en Argentina, Brasil, Colombia, Honduras, Nicaragua, Perú y Uruguay, generando un efecto positivo de largo plazo sobre el PIB de entre 0,01–0,23%. Destacan Bolivia, Ecuador y Venezuela donde el nivel de impuesto óptimo estaría entre los 20 y 50 dólares por tCO₂e, con beneficios sobre el PIB de entre 1,16–3,01%; es importante señalar que son los países que presentan la mayor intensidad energética en la región. En general, los resultados se asocian, principalmente, a los beneficios que pueden resultar de la adopción de nuevas tecnologías y procesos productivos en países con altos niveles de intensidad energética. Ello es posible gracias a los incentivos que genera la implementación del impuesto al carbono, para adoptar tecnologías más limpias y productivas, con lo que se reduciría el monto a pagar por concepto del impuesto. Por otro lado, los resultados para Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, Panamá y Paraguay sugieren que de no aplicarse alguna política de reutilización de ingresos fiscales la implementación de un impuesto al carbono tendría un efecto negativo sobre el PIB el cual, aumenta conforme se incrementa el nivel de impuesto. Los resultados deben de tomarse con precaución en la medida en que parece existir un sesgo a la pertenencia a la OCDE que no necesariamente refleja las condiciones de las economías.

Los resultados, incorporando esquemas de reutilización de ingresos fiscales para reducir impuestos sobre los factores productivos (reducción de impuestos sobre el capital y reducción de impuestos sobre el trabajo), sugieren que el nivel óptimo de impuesto en la mayoría de los países de la región estaría entre los 20 y 50 dólares/tCO₂e (véase el cuadro 9 y el gráfico 4). Este es el caso de Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y Uruguay. Incluso en Bolivia, Ecuador y Venezuela, el nivel óptimo de impuesto podría llegar a los 75 dólares/tCO₂e. Destaca que en Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Paraguay, la aplicación del impuesto sin considerar la reutilización de ingresos resultaría en un impacto negativo sobre el PIB, pero donde pueden existir beneficios considerando esquemas de reciclaje fiscal. En Chile, México y Panamá, persiste en impacto negativo aun cuando se consideran las alternativas de reutilización de ingresos. En Chile y México, los resultados se asocian a que ambos son países de la OCDE y por lo tanto tienen el efecto negativo asociado a este coeficiente. Sin embargo, los resultados deben tomarse con precaución ya que no parecen reflejar las condiciones de las economías. En Panamá, los resultados se deben a su gran volumen de intercambio comercial que equivale casi por completo a su PIB, por lo que podría resultar afectado por la pérdida de competitividad en el mercado internacional.

Cuadro 9
América Latina: Impacto estimado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB
(En porcentajes)

		Impacto estimado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB (%)																
Tasa impositiva (en dólares por tCO ₂ e)		Argentina	Bolivia (Estado Plurinacional de)	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	El Salvador	Guatemala	Honduras	México	Nicaragua	Panamá	Paraguay	Perú	Uruguay	Venezuela (República Bolivariana de)
<i>Sin reutilización</i>																		
5		0,06	0,38	0,15	-0,40	0,06	-0,18	0,45	-0,01	-0,04	0,05	-0,76	0,01	-0,70	-0,08	0,12	0,10	0,58
10		0,06	0,70	0,23	-0,86	0,05	-0,42	0,85	-0,08	-0,13	0,04	-1,58	-0,03	-1,47	-0,22	0,18	0,14	1,10
20		-0,12	1,16	0,22	-1,97	-0,15	-1,08	1,44	-0,42	-0,51	-0,16	-3,41	-0,31	-3,18	-0,68	0,12	0,03	1,95
50		-2,17	1,03	-1,31	-6,79	-2,23	-4,56	1,75	-2,90	-3,14	-2,27	-10,38	-2,65	-9,81	-3,56	-1,56	-1,78	3,01
75		-5,58	-0,78	-4,30	-12,51	-5,68	-9,17	0,30	-6,68	-7,04	-5,73	-17,90	-6,29	-17,05	-7,67	-4,67	-4,99	2,19
100		-10,54	-4,41	-8,83	-19,77	-10,67	-15,32	-2,70	-12,00	-12,48	-10,74	-26,97	-11,49	-25,83	-13,33	-9,33	-9,76	-0,18
<i>Disminución ImpK</i>																		
5		0,47	0,79	0,55	0,00	0,46	0,23	0,86	0,39	0,37	0,46	-0,35	0,42	-0,30	0,33	0,53	0,51	0,98
10		0,87	1,51	1,04	-0,05	0,86	0,39	1,65	0,72	0,68	0,85	-0,77	0,78	-0,66	0,59	0,99	0,95	1,91
20		1,49	2,77	1,84	-0,35	1,47	0,54	3,06	1,20	1,11	1,45	-1,79	1,30	-1,56	0,94	1,74	1,65	3,57
50		1,88	5,07	2,73	-2,74	1,81	-0,52	5,79	1,14	0,90	1,77	-6,34	1,40	-5,77	0,48	2,48	2,27	7,06
75		0,49	5,29	1,77	-6,44	0,39	-3,10	6,36	-0,61	-0,97	0,34	-11,83	-0,23	-10,98	-1,60	1,40	1,08	8,26
100		-2,45	3,95	-0,74	-11,68	-2,58	-7,23	5,39	-3,91	-4,39	-2,65	-18,88	-3,40	-17,74	-5,24	-1,24	-1,67	7,91
<i>Disminución ImpL</i>																		
5		0,37	0,69	0,45	-0,09	0,36	0,13	0,76	0,30	0,27	0,36	-0,45	0,32	-0,40	0,23	0,43	0,41	0,89
10		0,68	1,32	0,85	-0,25	0,66	0,20	1,46	0,53	0,48	0,66	-0,97	0,58	-0,85	0,40	0,80	0,75	1,71
20		1,10	2,38	1,45	-0,74	1,08	0,15	2,67	0,81	0,72	1,06	-2,18	0,91	-1,95	0,55	1,35	1,26	3,18
50		0,90	4,10	1,76	-3,72	0,84	-1,49	4,82	0,17	-0,07	0,80	-7,31	0,42	-6,74	-0,49	1,51	1,29	6,08
75		-0,97	3,82	0,31	-7,90	-1,07	-4,56	4,90	-2,07	-2,43	-1,13	-13,30	-1,69	-12,44	-3,07	-0,06	-0,39	6,80
100		-4,40	2,00	-2,69	-13,63	-4,53	-9,18	3,44	-5,86	-6,34	-4,60	-20,83	-5,35	-19,69	-7,19	-3,19	-3,62	5,96

Fuente: Elaboración de los autores con base en estimaciones utilizando el coeficiente de meta-regresión.

Gráfico 4
América Latina: Impacto estimado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB

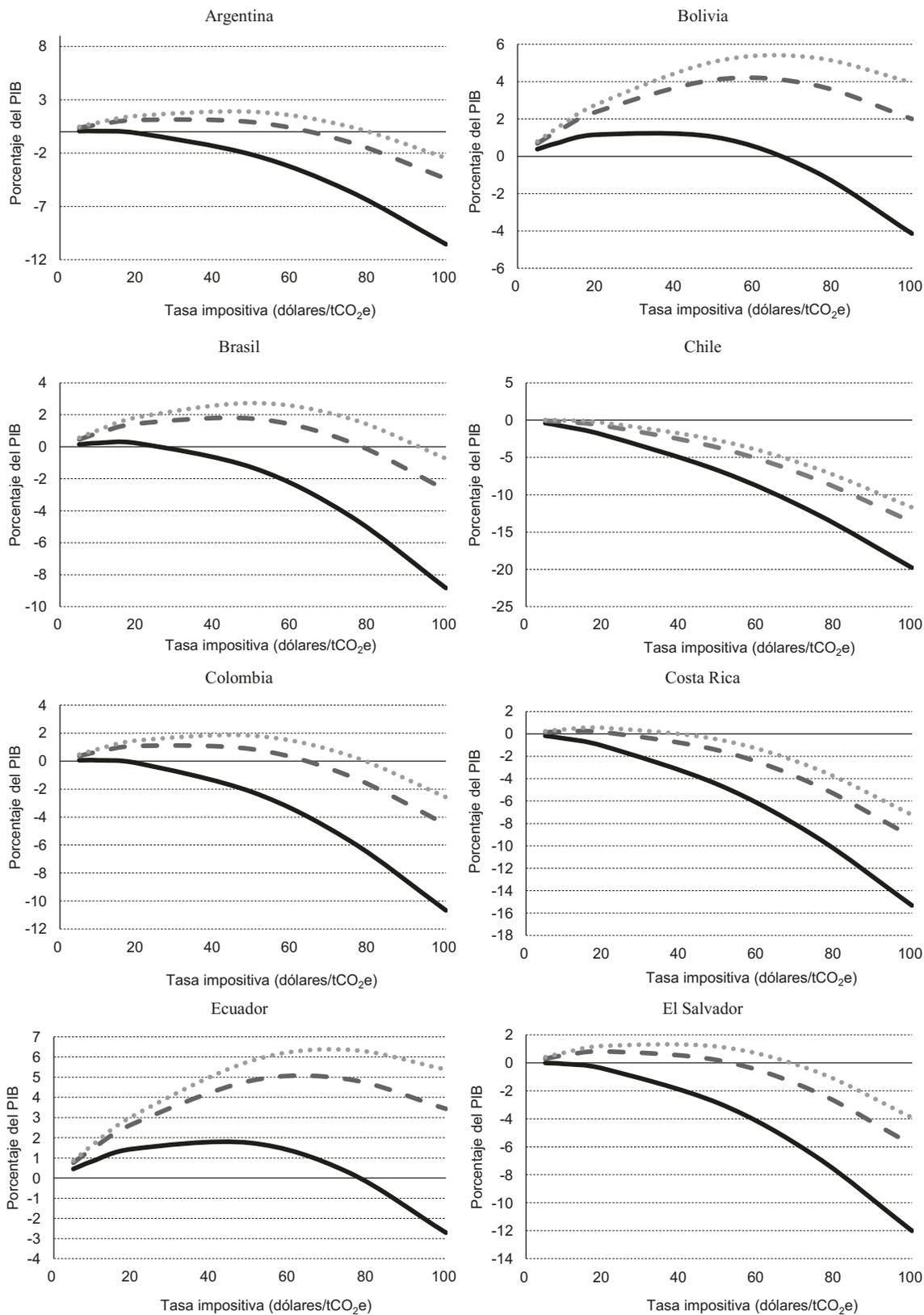


Gráfico 4 (continuación)

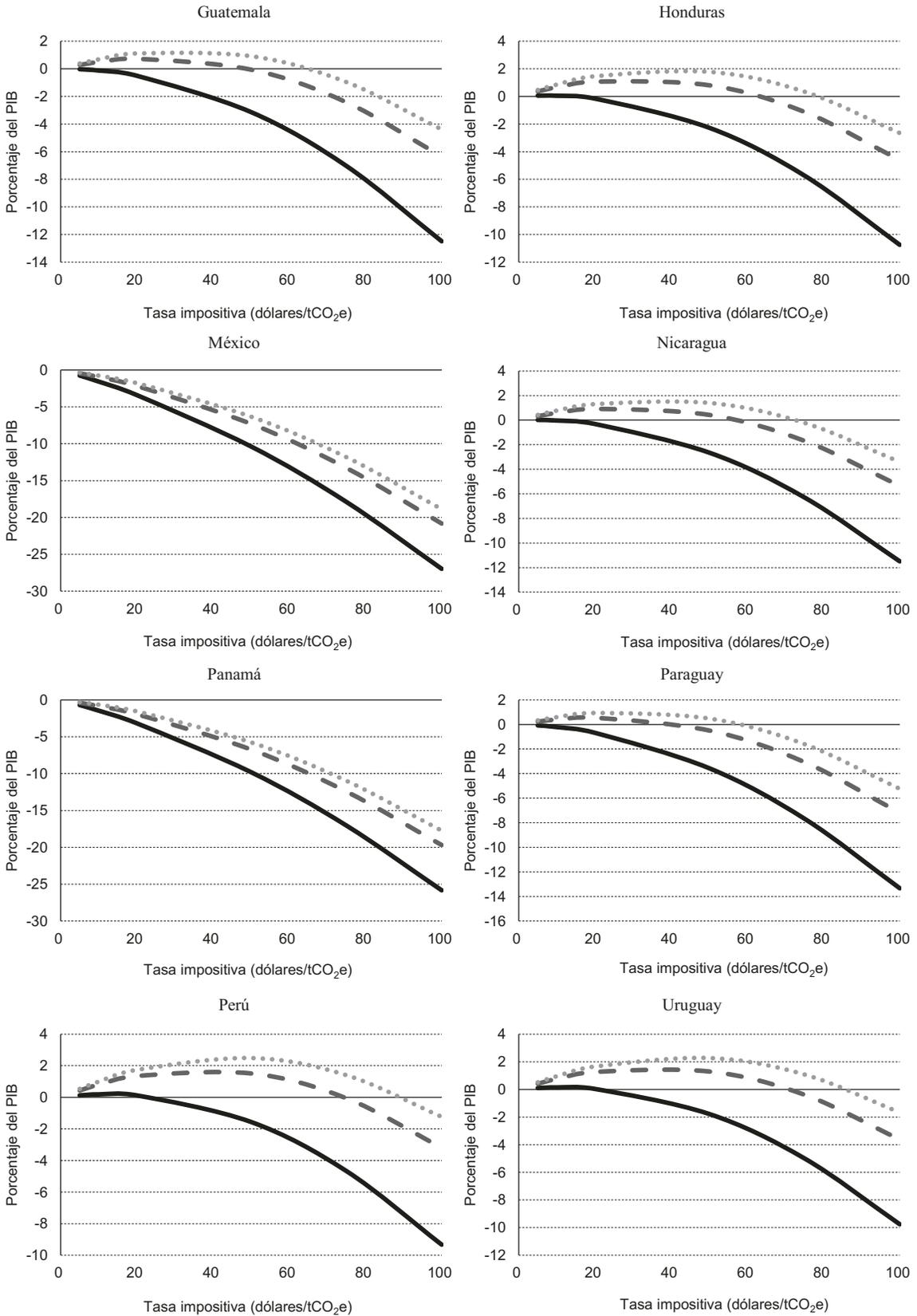
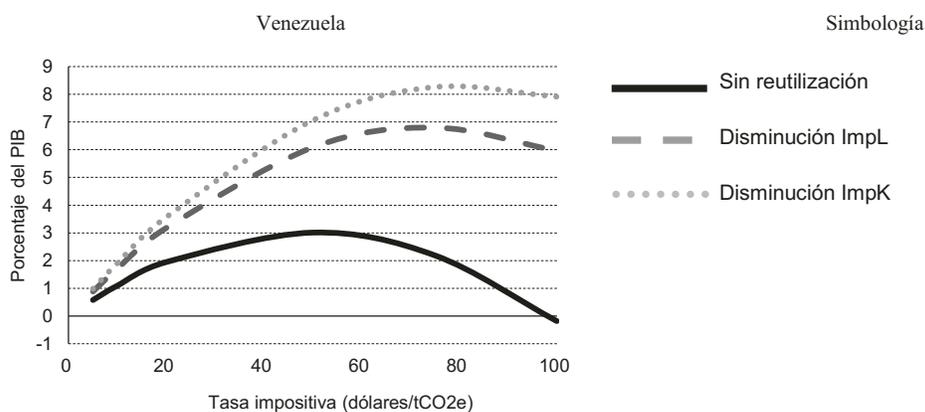


Gráfico 4 (conclusión)



Fuente: Elaboración de los autores con base en estimaciones utilizando el coeficiente de meta-regresión.

En los resultados se aprecia que los esquemas de reutilización de ingresos fiscales asociados a la disminución del nivel de impuestos en los factores productivos permiten reducir los costos de implementación del impuesto al CO₂ e incluso obtener un doble dividendo. De esta forma, la reutilización permite elevar el nivel óptimo de impuesto en los países de la región, con lo que existiría un beneficio ambiental por la consecuente reducción en las emisiones, y la reutilización de los ingresos resultaría en mayores beneficios económicos que oscilarían entre el 0,01–8,26% del PIB dependiendo del país y del esquema de reutilización. Lo anterior implica que existirían beneficios de implementar una reforma fiscal ambiental con un enfoque de neutralidad fiscal y de sustituir impuestos sobre los factores productivos por impuestos ambientales. La magnitud de estos beneficios es pequeña, el promedio máximo para los países de América Latina es de un incremento acumulado de la trayectoria de PIB de largo plazo de 2,2%; el cual representa el promedio del beneficio máximo para cada país estimado en el cuadro 9 bajo el escenario de reducción de impuestos al capital, ponderado por el tamaño relativo de cada economía en el PIB de la región. No obstante el reducido tamaño de los beneficios, este tipo de políticas resultan atractivas por que permitirían generar beneficios ambientales, a la vez que promueven el crecimiento económico.

Los resultados obtenidos sugieren que sustituir impuestos sobre los factores productivos por impuestos ambientales resulta en un beneficio económico neto para gravámenes de hasta 75 dólares/tCO₂e, dependiendo del país. Sin embargo los beneficios marginales de esta sustitución son decrecientes, por lo que pasando el nivel óptimo de impuesto sugerido para cada país, los beneficios de reducir los impuestos a los factores productivos son menores que las distorsiones adicionales ocasionadas en la economía por niveles más altos de un impuesto al carbono. De esta forma, aunque mayores niveles de impuestos resultarían en un beneficio ambiental, los beneficios económicos disminuirían hasta volverse negativos en la mayoría de los países y para niveles de impuesto superiores a los 75 dólares/tCO₂e. El trade-off entre impuestos sobre los factores productivos e impuestos ambientales se aprecia en el gráfico 4.

De este modo, la aplicación de un impuesto al carbono debe considerarse, fundamentalmente, en el contexto de una reforma fiscal ambiental (RFA) (Ekins, 2009; Bachus y Cao, 2011), definida como una reforma del sistema nacional de impuestos donde existe un cambio de la carga fiscal de impuestos convencionales, como aquéllos sobre el trabajo o el capital, hacia impuestos sobre actividades que dañan el medio ambiente (EEA, 2005). En este sentido, una RFA debe entenderse como un cambio en la estructura impositiva, y no como un incremento en los impuestos. De esta forma, una RFA para América Latina puede basarse en la implementación de un impuesto al carbono, y la reutilización de ingresos fiscales mediante la reducción de impuestos sobre los factores productivos o como una contribución que busca generar sistemas de protección social. Por ejemplo, Ekins (2009) y Bachus y Cao (2011) señalan que para que una RFA sea efectiva, el diseño del instrumento impositivo es crucial, es decir, el nivel de impuesto ambiental debe ser el adecuado, y el esquema de reutilización de impuestos planteado debe maximizar los beneficios. Bachus y Cao (2011) señalan que se deben reducir los impuestos de aquel factor productivo que tenga una mayor carga fiscal. De forma que, los beneficios marginales de disminuir la carga impositiva sean mayores.

III. Conclusiones

El cambio climático puede entenderse, desde una óptica económica, como la consecuencia de una externalidad negativa global (Stern, 2007, 2008). En este sentido, es posible utilizar un conjunto de instrumentos fiscales tales como impuestos y subsidios para atender el desafío del cambio climático. Siguiendo esta misma línea, la aplicación de un impuesto al carbono (*carbon tax*) resulta particularmente atractiva por tratarse de una política con un diseño simple y de amplio alcance. Sin embargo, uno de los principales argumentos en contra son sus potenciales efectos negativos sobre el producto o la distribución del ingreso. Por ejemplo, existe un intenso debate sobre los efectos directos en el PIB de un impuesto al carbono y, más aun, persiste un intenso debate sobre la posible presencia de un doble dividendo en la aplicación de un impuesto al carbono, y sobre los factores que condicionan su existencia.

Sin embargo, no es posible realizar el análisis de los efectos potenciales de un impuesto al CO₂ sobre el PIB en América Latina con información directa ya que, actualmente solo Chile y México disponen de un impuesto al carbono. De esta forma, solo es posible llevar a cabo un análisis preliminar e hipotético sobre los potenciales efectos de un impuesto al carbono. Para ello se utiliza un meta-análisis de estudios (que utiliza una amplia muestra de modelos GEM para estimar el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB) y una *transferencia de beneficios*, en donde los coeficientes obtenidos en el meta-análisis son utilizados para estimar el impacto que tendría la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB en los diferentes países de América Latina. Ello permite disponer de una aproximación sobre el impacto y analizar los potenciales efectos del reciclaje fiscal para contribuir a disminuir los efectos negativos sobre el PIB asociados al impuesto sobre el CO₂, o incluso generar un doble dividendo.

La base de datos incluye un total de 262 estimaciones de las cuales, 212 sugieren un efecto negativo y las 50 restantes sugieren un impacto positivo. Esta muestra sugiere que el efecto de la aplicación de un impuesto al carbono sobre el PIB oscila entre -51 y +52% y donde la distribución de las estimaciones de un dólar de impuesto presenta un notable sesgo a la izquierda, con un valor medio de -0,01%, y una dispersión en el rango de -0,1 a +0,04%. Las estimaciones sugieren que, en promedio, el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB sería de -0,009% por cada dólar de impuesto. Por ejemplo, un impuesto promedio de 69 dólares/tCO₂e resultaría en una disminución del PIB en -0,62%, suponiendo que el impacto del impuesto aumenta de forma lineal. Sin embargo, la media de la distribución sugiere que el impacto promedio del impuesto al carbono sobre el PIB para los países de la OCDE es de -0,01% por cada dólar de impuesto, mientras que para los países que no pertenecen a esta organización sería mayor, cercano a -0,02%. El estadístico Kolmogorov-Smirnov (K-S) para las dos muestras sugiere que existe una diferencia estadísticamente significativa en las distribuciones.

El meta-análisis indica que el efecto promedio de un impuesto al carbono sobre el PIB (para toda la muestra) es de -0,01% por cada dólar de impuesto. Por su parte, la muestra de estudios para los países miembros de la OCDE indica un impacto de -0,036% por cada dólar de impuesto mientras que en el caso de los países que no son miembros, el impacto promedio es positivo, alrededor de 0,006% por cada dólar de impuesto, aunque no es estadísticamente significativo. Estos resultados contrastan con el promedio de las distribuciones sin ponderar las cuales, sugieren un impacto negativo en ambos casos. Destaca que en los países miembros de la OCDE únicamente una pequeña fracción de la dispersión se asocia al error de muestreo, mientras que para el caso de países no miembros de la OCDE se observa que la mayor parte de la variación es genuina. Ello sugiere que existe una mayor heterogeneidad de los efectos de un impuesto al CO₂ en los países en desarrollo.

Los resultados del meta-análisis sugieren que los impactos sobre el producto de un impuesto al carbono son relevantes pero diferenciados en los países con distintos niveles de desarrollo. Por ejemplo, el impuesto promedio de la muestra total, que equivale a 54 dólares de 2010 por tCO₂e, tendría un efecto promedio negativo de -0,59% en el PIB de todos los países considerados, este porcentaje puede aumentar o disminuir dependiendo del nivel de impuesto. Por su parte, un impuesto promedio de 58 dólares/tCO₂e para los países miembros de la OCDE resultaría en una disminución de su PIB cercano a -2% y un nivel de impuesto promedio de 50 dólares/tCO₂e para países menos desarrollados podría resultar en un efecto positivo en el PIB cercano a 0,3%. Los resultados sugieren que la aplicación de un impuesto al carbono en los países de América Latina, tendría impactos positivos en el PIB ya que generaría incentivos para la implementación de nuevas tecnologías (más eficientes en el uso de energía) y para el desarrollo de otros sectores de la economía menos intensivos en energía. Es importante señalar que las estimaciones asumen una relación lineal entre el nivel de impuesto y el porcentaje de variación en el PIB.

La meta regresión permite simular el efecto acumulado de largo plazo de un impuesto al carbono sobre el PIB (promedio de 40 años de acuerdo a la muestra de resultados obtenidos por modelos de EGC), con base en los estudios utilizados para el meta-análisis. Los resultados de la estimación indican que los estudios con modelos dinámicos GEM tienen un menor impacto negativo sobre el PIB de un impuesto al carbono; lo que puede deberse a que estos modelos consideran aspectos como el progreso tecnológico y la retroalimentación entre los diferentes sectores de la economía. Asimismo, los resultados de la meta-regresión sugieren que reducir los impuestos sobre los factores productivos como el trabajo y el capital reduce de manera significativa los costos económicos de la aplicación del impuesto al carbono e incluso podría generar un doble dividendo promoviendo el crecimiento económico. Por ejemplo, una política de amortiguamiento que disminuya los impuestos sobre el capital o el trabajo reduce el impacto porcentual del impuesto sobre el PIB en 0,08 y 0,06 unidades porcentuales, respectivamente. En este caso debe considerarse que el coeficiente del trabajo es más preciso (significativo con un 95% de confianza) y que en América Latina, donde la concentración del ingreso es muy alta, el reciclaje al trabajo tiene otros efectos favorables adicionales.

La evidencia disponible muestra que las condiciones estructurales inciden en el impacto del impuesto. En particular, el nivel de desarrollo del país, su apertura comercial, condiciones fiscales, estructura productiva e intensidad en el uso de energía. Por ejemplo, el coeficiente asociado a la variable *OCDE* es positivo y estadísticamente significativo lo que sugiere que el costo macroeconómico de la aplicación de un impuesto al carbono es mayor en las economías desarrolladas. Por su parte, el coeficiente de la intensidad energética sugiere que el costo macroeconómico del impuesto es menor en aquellos países con una mayor intensidad energética en su producto lo que sugiere que estos países tienen un mayor margen para realizar mejoras en los procesos productivos. El coeficiente de la variable *IngFisc PIB* sugiere que el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB es menor en los países con mayor carga fiscal. Finalmente, se observa un efecto negativo para países con mayor apertura comercial; lo que confirma la pérdida de competitividad en las exportaciones (ampliamente discutida en la literatura).

Los resultados del meta-análisis pueden utilizarse para la transferencia de beneficios donde se consideran únicamente las variables que inciden de manera significativa sobre el impacto macroeconómico de un impuesto al carbono. La variable dependiente, y por lo tanto para la transferencia de coeficientes, es el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB, por cada dólar de impuesto. Los resultados de las simulaciones corresponden al efecto acumulado de largo plazo de un impuesto al

carbono sobre el PIB (promedio de 40 años de acuerdo a la muestra de resultados obtenidos por modelos GEM). Las estimaciones suponen el uso de un modelo GEM, por lo que la variación estimada del PIB corresponde a la divergencia de largo plazo (promedio de 40 años de acuerdo a la muestra de resultados obtenidos por los modelos GEM) del escenario con impuesto, respecto al escenario base (sin impuesto).

Los resultados para cada uno de los países, sugieren que la aplicación de un impuesto al carbono podría resultar en un doble dividendo para algunos de los países de América Latina, aún sin considerar un esquema de reutilización de ingresos fiscales en el que se observa que un nivel bajo de impuesto de entre 5 a 10 dólares/tCO₂e sería el óptimo para países como Argentina, Brasil, Colombia, Honduras, Nicaragua, Perú y Uruguay, generando un efecto positivo de largo plazo sobre el PIB entre 0,01–0,23%. Destacan países como Bolivia, Ecuador y Venezuela donde el nivel de impuesto óptimo estaría entre los 20 y 50 dólares/tCO₂e, con beneficios sobre el PIB de entre 1,16–3,01%; es importante señalar que son los países que presentan el mayor nivel de intensidad energética de la región. Por otro lado, los resultados para países como Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, Panamá y Paraguay sugieren que la implementación de un impuesto al carbono tendría un efecto negativo sobre el PIB de no aplicarse alguna política de reutilización de ingresos fiscales. En este caso el impacto negativo aumenta, conforme incrementa el nivel de impuesto. Los resultados, incorporando esquemas de reutilización de ingresos fiscales para reducir impuestos sobre los factores productivos (capital y trabajo), sugieren que el nivel óptimo de impuesto en Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y Uruguay estaría entre los 20 y 50 dólares/tCO₂e. Incluso en Bolivia, Ecuador y Venezuela, el nivel óptimo podría llegar a los \$75 dólares por tCO₂e. Destaca, además, Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Paraguay donde la aplicación del impuesto sin considerar la reutilización resultaría en un impacto negativo sobre el PIB, pero donde pueden existir beneficios considerando esquemas de reciclaje fiscal. En Chile, México y Panamá, persiste en impacto negativo aun considerando las alternativas de reutilización de ingresos aunque cercano a cero. Para Chile y México, los resultados se asocian a que ambos son países de la OCDE y por lo tanto, tienen el efecto negativo asociado a este coeficiente. En este sentido, los resultados deben tomarse con precaución. En el caso de Panamá las estimaciones se asocian a su gran volumen de intercambio comercial que equivale casi a la totalidad de su PIB, por lo que podría resultar afectado por la pérdida de competitividad en el mercado internacional.

En los resultados se aprecia que los esquemas de reutilización de ingresos fiscales permiten reducir los costos económicos de la implementación del impuesto al CO₂ e incluso obtener un doble dividendo. De esta forma, la reutilización de ingresos permite elevar el nivel óptimo de impuesto al carbono en los países de la región, con lo que existiría un beneficio ambiental derivado de la reducción en las emisiones de CO₂, la reutilización de los ingresos resultaría en mayores beneficios económicos que oscilarían entre 0,01–8,26% del PIB dependiendo del país y del esquema de reutilización considerado. Lo anterior implica que existirían beneficios de implementar una reforma fiscal ambiental con un enfoque de neutralidad fiscal y de sustituir impuestos sobre los factores productivos por impuestos ambientales o contribuciones al pago de la seguridad social. Sin embargo los beneficios marginales de esta sustitución son decrecientes, por lo que es importante no rebasar el nivel óptimo de impuesto sugerido para cada país.

De este modo, la aplicación de un impuesto al carbono debe considerarse, fundamentalmente, en el contexto de una reforma fiscal ambiental (Ekins, 2009; Bachus y Cao, 2011). Esto es, en una RFA donde exista un cambio de la estructura impositiva pasando de impuestos convencionales, como aquéllos sobre el trabajo o el capital, hacia impuestos sobre actividades que dañan el medio ambiente (EEA, 2005). Para que una RFA sea efectiva, el diseño del instrumento impositivo es crucial considerando su nivel y el esquema de reutilización de impuestos. En este contexto, es posible obtener un doble dividendo y en todo caso, aprovechar un entorno de bajos precios internacionales del petróleo para implementar un impuesto al carbono sin que esto implique mayores distorsiones en el precio de los energéticos.

Finalmente es importante señalar que los resultados de este documento únicamente se deben considerar como una primera aproximación al impacto que podría tener un impuesto al carbono sobre el PIB de los países de América Latina, y como una indicación de los beneficios potenciales de la aplicación de políticas de reutilización de ingresos para compensar los efectos adversos del impuesto. Por tanto, sería importante complementar los resultados de esta investigación con un análisis detallado por país.

Bibliografía

- Agnolucci, P. (2011), “The effect of the German and UK environmental tax reforms on the demand for labour and energy”. En *Environmental Tax Reform (ETR): A Policy for Green Growth*, ed. P. Ekins y S. Speck, Oxford University Press.
- Bachus, K., y J. Cao (2011), “Lagging behind or catching up? A comparison of Chinese and European environmentally related taxes”, en Kreiser, et al., (eds.), 2011, *Environmental taxation in China and Asia-Pacific: achieving environmental sustainability through fiscal policy*. Critical Issues in Environmental Taxation, Volume IX, Edward Elgar Publishing Limited.
- Barker, T., S. Junankar, H. Pollitt y P. Summerton (2009), “The effects of environmental tax reform on international competitiveness in the European Union: modelling with E3ME”, en S. Andersen y S. Speck (eds), *Carbon Energy Taxation Lessons from Europe*, Oxford University Press.
- Barker, T. y J. Kohler (1998), *International competitiveness and environmental policies*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Barker, T. y K. Rosendahl (2000), “Ancillary benefits of GHG mitigation in Europe: SO₂, NO_x and PM₁₀ reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and EXTERNE valuations”. Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, *Proceedings of an IPCC Co-Sponsored Workshop*, March, Paris: OECD.
- Barker, T., S. Scricciu y T. Foxon (2008), “Achieving the G8 50% target: modeling induced and accelerated technological change using the macro-econometric model E3MG”. *Climate Policy*, Vol. 8. Sup. 1.
- Banco Mundial (2014), *State and trends of carbon pricing/2014*. The World Bank Group, Washington, D.C., 2014.
- Baumol, W. y W. Oates (1988), *The theory of environmental policy*, 2nd Ed., Cambridge University Press, New York.
- Bergin, A., J. Fitz-Gerald, y I. Kearney (2002), “The macro-economic effects of using fiscal instruments to reduce greenhouse gas emissions”. Documento presentado en el ESRI Energy Policy Research Centre Conference, 2002.
- Bergstrom, J. y L. Taylor (2006), “Using meta-analysis for benefits transfer: theory and practice”, *Ecological Economics*, Vol. 60, No. 2.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2015), “Understanding a computable general equilibrium model” [en línea], <http://www.iadb.org/en/topics/trade/understanding-a-computable-general-equilibrium-model,1283.html>
- Bhattacharyya, S. (1996), “Applied general equilibrium models for energy studies”. *Energy Economics*, Vol. 18, No. 3, pp. 145-164.
- Borenstein, et al. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Bosquet, B. (2000), “Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence”. *Ecological Economics*, Vol. 34, pp. 19 – 32.

- Bovenberg, A., y L. Goulder (1996), "Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general equilibrium analyses". *American Economic Review*, Vol. 86, No. 4, pp. 985-1000.
- Brendemoen, A., y H. Vennemo (1994), "A climate treaty and the Norwegian economy: A CGE assessment". *Energy Journal*, Vol. 15, No. 1, p. 77.
- Bruvold, A., y B. Larsen (2004), "Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work?", *Energy Policy*, No. 32, Vol. 4, pp. 493-505.
- Bye, B. (2000). "Environmental tax reform and producer foresight: an intertemporal computable general equilibrium analysis". *Journal of Policy Modeling*, Vol. 22, No. 6, pp. 719-752.
- CBO (Congressional Budget Office, Congress of the United States) (2013), *Effects of a carbon tax on the economy and the environment*. Reporte elaborado por la Oficina de Presupuesto del Congreso de los Estados Unidos de América.
- CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas) (2015), "Impuestos ambientales en México y el mundo". *Centro de Estudios de las Finanzas Públicas*.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2015), *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, Chile.
- _____ (2014a), *Pactos para la igualdad: Hacia un futuro sostenible*. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, Chile.
- _____ (2014b), *Paradojas y riesgos del crecimiento económico en América Latina y el Caribe: Una visión ambiental de largo plazo*. Serie: Medio Ambiente y Desarrollo. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, Chile.
- _____ (2011), *La economía del cambio climático en Centroamérica: reporte técnico*. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, México.
- Ciarli, T. (2010), "The effect of consumption and production structure on growth and distribution: A micro to macro model", *Metroeconomica*, Vol. 61, No. 1.
- Cline, W. (1992), *The economics of global warming*. Washington D.C.: Institute for International Economics.
- Cochran, W. (1954), "The combination of estimates from different experiments". *Biometrics*, Vol. 10, No. 1.
- Conrad, K., y T. Schmidt (1997), "Double dividend of climate protection and the role of international policy coordination in the EU: an applied general equilibrium analysis with the GEM-E3 model", *ZEW Discussion Paper*, No. 97-26.
- Conefrey, T. et al., (2013), "The impact of a carbon tax on economic growth and carbon dioxide emissions in Ireland". *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 56, No. 7, pp. 934-952.
- Cooper, H. (2016), *Research synthesis and meta-analysis: a step-by-step approach*, SAGE Publications, Inc.
- Daugbjerg, C. y A. Pedersen (2004), "New policy ideas and old policy networks: implementing green taxation in Scandinavia". *Journal of Public Policy*, Vol. 24, No. 2, pp. 219-49.
- De Mooij, R., H. Parry, y M. Keen (eds.) (2012), *Fiscal policy to mitigate climate change: a guide for policy makers*. International Monetary Fund (IMF).
- Devarajan, S. et al. (2009). "Tax policy to reduce carbon emissions in South Africa". *The World Bank Policy Research Working Paper*, No. 4933.
- Dissou, Y. y M. Siddiqui (2014), "Can carbon taxes be progressive?". *Energy Economics*, Vol. 42, pp. 88-100.
- Dubash, N., M. Hagemann, N. Hohne y P. Upadhyaya (2013), "Developments in national climate change mitigation legislation and strategy". *Climate Policy*, Vol. 13, No. 6, pp. 649-664.
- Edelstein, P., y L. Kilian (2007), *Retail energy prices and consumer expenditures*. Department of Economics, University of Michigan.
- Edwards, H., y J. Hutton (1998), "The effects of carbon taxation on carbon, nitrogen and sulphur pollutants in Europe: combining general equilibrium and integrated systems approaches". *The University of York, Discussion Papers in Economics*, No. 1998/26.
- EEA (European Environment Agency) (2005), *Market-based instruments for environmental policy in Europe*, Technical Report No. 8/2005, Copenhagen, Denmark.
- Ekins, P. (2009), *The case for green fiscal reform: final report of the UK Green Fiscal Commission*. Green Fiscal Commission, UK.
- Ekins, P., y T. Barker (2001), "Carbon taxes and carbon emissions trading". *Journal of Economic Surveys*, Vol. 15, No. 3, pp. 325-376.
- Ekins, P. y S. Speck (2011), *Environmental tax reform: a police for green growth*. Oxford University Press: New York.

- Enevoldsen, M., A. Ryelund y M. Andersen (2007), “Decoupling of industrial energy consumption and CO₂-emissions in energy-intensive industries in Scandinavia”. *Energy Economics*, Vol. 29, No. 4.
- Fisher, B. (2008), *Estimated impacts of the proposed domestic emissions trading scheme on the oil and gas industry*. Report prepared for The Australian Petroleum Production & Exploration Association.
- Fitz-Gerald, J., y D. McCoy (1992), The macroeconomic implications for Ireland (Chapter 5), en *The economic effects of carbon taxes*. Policy Research Series, Paper No. 14. Economic and Social Research Institute, Dublin.
- Flues, F., y A. Thomas (2015), “The distributional effects of energy taxes”. *OECD Taxation Working Paper*, No. 23, OECD Publishing, Paris.
- Fankhauser, S. (1994), “The social cost of greenhouse gas emissions: an expected value approach”. *The Energy Journal*, Vol. 15, No 2.
- Fullerton, D. (1997), “Environmental levies and distortionary taxation: comment”. *American Economic Review*, Vol. 87, No. 1, pp. 245-251.
- Galindo, L.M., J. Samaniego, J. Ferrer, J.E. Alatorre y O. Reyes (2016), *Cambio climático, políticas públicas y demanda de energía y gasolinas en América Latina*, CEPAL – Cooperación Alemana.
- _____ (2015), “Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: implicaciones de política pública para América Latina”. *Revista CEPAL*, 117.
- Garbaccio, R., M. Ho y D. Jorgenson (1999), “Controlling Carbon Emissions in China”. *Environment and Development Economics*, Vol. 4, pp. 493-518.
- Glass, et al. (1981), *Meta-analysis in social research*. Newbury Park, CA: Sage.
- Glomsrod, S., H. Vennemo y T. Johnsen (1992), “Stabilization of emissions of carbon dioxide: a computable general equilibrium assessment”. *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 94, No. 1, pp. 53-69.
- Goulder, L. ed. (2002), *Environmental Policy Making in Economies With Prior Tax Distortions*. Northampton MA: Edward Elgar.
- Goulder, L. (1995), “Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis”. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29.
- Goulder, L., y M. Hafstead (2013), “Tax reform and environmental policy: options for recycling revenue from a tax on carbon dioxide”. *Resources for the Future*, Discussion paper, RFF DP 13-31.
- Goulder, L., y S. Schneider (1999), “Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies”. *Resource and Energy Economics*, Vol. 21.
- Government of Sweden (2008), *Sweden's Fourth National Communication on Climate Change*. Stockholm: Ministry of Sustainable Development.
- Gruber, J. (2009), *Public Finance and Public Policy*. Third Edition, Worth Publishers.
- Gunning, J., y M. Keyzer (1995), *Applied general equilibrium models for policy analysis*, en J. Behrman y T. Srinivasan (eds.), *Handbook of Development Economics*, Vol. III-A, Amsterdam: Elsevier.
- Hamilton, K. y G. Cameron (1994), “Simulating the distributional effects of a canadian carbon tax”. *Canadian Public Policy—Analyse de Politiques*, Vol. 20, No. 4, pp. 385-399.
- Harrison, et al. (1997), “Quantifying the Uruguay round”. *Economic Journal*, Vol. 107, pp. 1405-1430.
- Havranek, T., Z. Irsova y K. Janda (2012), “Demand for Gasoline is More Price-Inelastic than Commonly Thought”. *Energy Economics*, Vol. 34, No. 1.
- Hess, S., y S. Cramon-Taubadel (2008), “Agricultural trade policy modelling: insights from a meta-analysis of doha development agenda outcomes”. *Commissioned Papers 43466*, Canadian Agricultural Trade Policy Research Network.
- Higgins, et al. (2003), “Measuring inconsistency in meta-analyses”. *Bmj*. Vol. 327.
- Hoeller, P. y M. Wallin (1991), “Energy Prices, Taxes and Carbon Dioxide Emissions”. *OECD Working Papers*, No. 89.
- Hoerner, A. y B. Bosquet (2001), *Environmental tax reform: the European experience*. Center for a Sustainable Economy, Washington, D.C., US.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014), *Climate change 2014: synthesis report*. Contributions of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri y L. A. Meyers (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jaeger, W. (2012), “The double dividend debate”, Capítulo 12 en *Handbook of Research on Environmental Taxation* por Milne, J. y M. Andersen Eds. Edward Elgar Publishing, 2012.
- Jansen, H., y G. Klaassen (2000), “Economic Impacts of the 1997 EU Energy Tax: Simulations with Three EU-Wide Models”. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 15, No. 2.

- Jofra, M. y Puig, I. (2014). *Fiscalidad ambiental e instrumentos de financiación de la economía verde*. ENT Environment and Management – Fundación Fórum Ambiental.
- Jorgenson, D., y P. Wilcoxon (1993). “Reducing US carbon emissions: an econometric general equilibrium assessment”. *Resource and Energy Economics*, Vol. 15, pp. 7-25.
- Karadeloglou, P. (1992), “energy tax versus carbon tax: a quantitative macroeconomic analysis with the HERMES/MIDAS models”, en F. Laroui y J. Velthuisen (eds.), *An Energy Tax in Europe*, SEO Report No. 281, Amsterdam.
- Kemfert, C., y H. Welsch (2000), “Energy-capital-labor substitution and the economic effects of CO₂ abatement: evidence for Germany”. *Journal of Policy Modelling*, Vol. 22, No. 6.
- Kim, K., J. Tang y T. Lefevre (2004). “Analysis on dual system (carbon tax plus emission trading) in domestic CO₂ abatement strategy—CGE analysis for Korean case. *Journal of Economic Research*, Vol. 9.
- Labandeira, X. y J. Labeaga (1999), “Combining input-output analysis and micro-simulation to assess the effects of carbon taxation on Spanish households”. *Fiscal Studies*, Vol. 20, No. 3.
- Leamer, et al. (1999), “How does the North American Free Trade Agreement affect Central America?”. *Research working papers*, Banco Mundial.
- Lee, D., y W. Miseolek (1986), “Substituting pollution taxation for general taxation: some implications for efficiency in pollution taxation”. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 13, No. 4.
- Li, J. (2002), “Including the feedback of local health improvement in assessing costs and benefits of GHG reduction”. *Review of Urban & Regional Development Studies*, Vol. 14, No. 3.
- Liang, Q., Y. Fan y Y. Wei (2007), “Carbon taxation policy in China: how to protect energy—and trade-intensive sectors?”. *Journal of Policy Modeling*, Vol. 29, pp. 311-333.
- Lim, J., y Y. Kim (2012), “Combining carbon tax and R&D subsidy for climate change mitigation”. *Energy Economics*, Vol. 34, Suplemento 3.
- Lu, C., Q. Tong, y X. Liu (2010), “The impacts of carbon tax and complementary policies on Chinese economy”. *Energy Policy*, Vol. 38.
- Mahmood, A., y C. Marpaung (2014), “Carbon pricing and energy efficiency improvement—why to miss the interaction for developing economies? An illustrative CGE based application to the Pakistan case”. *Energy Policy*, Vol. 67.
- Martin, W., y L. Winters, eds. (1996), *The Uruguay round and the developing economies*, New York: Cambridge University Press.
- Matsumoto, K., y T. Fukuda (2006), “Environmental and economic analyses of the carbon tax based on the imputed price using applied general equilibrium model: taxation on the upper industrial sectors”. *Environmental Economics and Policy Studies*, Vol. 8, pp. 89-102.
- Matsumoto, K., y T. Masui (2011), “Analyzing long-term impacts of carbon tax based on the imputed price, applying the AIM/CGE model”. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 22, No. 1.
- McDougall, R. (1993), “Short-run effects of a carbon tax”. *Centre of Policy Studies and the Impact Project*, General paper No. G-100.
- _____ (1993b), “Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia”. *Centre of Policy Studies and the Impact Project*, General paper No. G-104.
- McKibbin, W., et al. (2015), “Carbon taxes and U.S. fiscal reform”. *National Tax Journal*, Vol. 68, No. 1.
- McKittrick, R. (2013), *An evidence-based approach to pricing CO₂ emissions*. Technical Note: The Global Warming Policy Foundation. Reino Unido.
- Meng, S. (2015), “Is the agricultural industry spared from the influence of the Australian carbon tax?”. *Agricultural Economics*, Vol. 46.
- Meng, S., M. Siriwardana, y J. McNeill (2013), “The environmental and economic impact of the carbon tax in Australia”. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 54, pp. 313-332.
- Metcalf, G. y D. Weisbach (2009), “The Design of a Carbon Tax”. *University of Chicago Public Law and Legal Theory Working Paper*, No. 254.
- Metcalf, G., A. Mathur, y K. Hassett (2010), “Distributional Impacts in a Comprehensive Climate Policy Package”. *NBER Working Paper*, No. 16101.
- Michaelis, L. (1997), *Special issues in carbon/energy taxation: carbon charge on aviation fuels—Annex 1 Export Group on the UNFCCC*, Working Paper No. 12, Organization for Economic Cooperation and Development, OCDE/GD(97)78, Paris.
- Mulder, P., H. de Groot y B. Pfeiffer (2014), “Dynamics and determinants of energy intensity in the service sector: A cross-country analysis, 1980-2005”. *Ecological Economics*, Vol. 100.

- Nakata, T. y A. Lamont (2001), "Analysis of the impacts of carbon taxes on energy systems in Japan". *Energy Policy*, Vol. 29, No. 2.
- Olsthoorn, A. (2001), "Carbon dioxide emissions from international aviation: 1950-2050", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 7, pp. 87-93.
- Ozokcu, S. y O. Ozdemir (2017), "Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 72.
- Pablo-Romero, M. y J. De Jesús (2016), "Economic growth and energy consumption: The Energy-Environmental Kuznets Curve for Latin America and the Caribbean". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60.
- Palatnik, R., y M. Shechter (2008), "Can climate change mitigation policy benefit the Israeli economy? A Computable General Equilibrium Analysis". *FEEM*, 2008.002 Note di Lavoro.
- Parry, I. y K. Small (2005), "Does Britain or the United States have the right gasoline tax?", *American Economic Review*, Vol. 95, No. 4.
- Patuelli, R., P. Nijkamp, y E. Pels (2005), "Environmental tax reform and the double dividend: a meta-analytical performance assessment". *Ecological Economics*, Vol. 55, pp. 564-583.
- Pearce, D. (1991), "The role of carbon taxes in adjusting to global warming". *Economic Journal*, Vol. 101, No. 407.
- Perry et al. (2001), *Fiscal reform and structural change in developing countries*. New York: Palgrave-Macmillan.
- Pindyck, R. (2013), "Climate change policy: what do the models tell us?", *Journal of Economic Literature*, Vol. 51, No. 3.
- Porter, M. y C. van der Linde (1995), "Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship". *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4.
- Proost, S., y D. van Regemorter (1992), "Economic effects of a carbon tax: with a general equilibrium illustration for Belgium". *Energy Economics*, Vol. 14.
- Rausch, S., G. Metcalf y J. Reilly (2011), "Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households". *Energy Economics*, Vol. 33, Suplemento 1.
- Repetto, R. y D. Austin (1997), *The costs of climate protection: a guide for the perplexed*, World Resources Institute, Washington, D.C.
- Repetto, R., et al. (1992), *Green fees: how a tax shift can work for the environment and the economy*, Washington, DC, US: World Resources Institute.
- Revelle, E. (2009), *Cap-and-trade versus carbon tax: two approaches to curbing greenhouse gas emissions*. LWVUS Climate Change Task Force. Estados Unidos.
- Rodríguez, A. (2008), "Fundamentos para el uso de instrumentos fiscales en la política ambiental: una aproximación al caso colombiano". *Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales*, Documento web.
- Ros, J. (2004), "El crecimiento económico en México y Centroamérica: desempeño reciente y perspectivas". *Estudios y perspectivas*, No. 18, CEPAL, México.
- Saez, et al., (2001), "Comparing meta-analysis and ecological-longitudinal analysis in time-series studies. A case study of the effects of air pollution on mortality in three Spanish cities". *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 55, pp. 423-432.
- Schwartz, J. (1994), "Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis". *Environmental Research*, Vol. 64.
- Scrimgeour, F., L. Oxley y K. Fatai (2005), "Reducing carbon emissions? The relative effectiveness of different types of environmental tax: the case of New Zealand". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 20.
- Shah, A. y B. Larsen (1992), "Carbon taxes, the greenhouse effect, and developing countries". *The World Bank*, Background paper for World Development Report 1992.
- Shields, C., y J. Francois, eds. (1994), *Modeling trade policy: applied general equilibrium assessment of North American Free Trade*, New York: Cambridge University Press.
- Stanley T. (2001), "Wheat from chaff: meta-analysis as quantitative literature review", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 15, No. 3.
- Stanley, T. y C. Doucouliagos. (2013), "Neither fixed nor random: weighted least squares meta-analysis" (Vol. 2013_1): *Deakin University, Faculty of Business and Law, School of Accounting, Economics and Finance*.
- _____ (2012), *Meta-regression analysis in economics and business*, Taylor and Francis.
- Stanley, T. et al. (2013), "Meta-analysis of economic research reporting guidelines", *Journal of Economic Surveys*, Vol. 27, No. 2.

- Stanley, T. y S. Jarrell (1989), "Meta-regression analysis: a quantitative method of literature surveys", *Journal of Economic Surveys*, Vol. 3, No. 2.
- Stern, N. (2013), "The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models". *Journal of Economic Literature*, Vol. 51, No. 3.
- _____ (2008), "The economics of climate change", *American Economic Review*, Vol. 98, No. 2.
- _____ (2007), *The economics of climate change: the stern review*, Cambridge University Press.
- Stern, J. (2009), *Meta-analysis in STATA: an update collection from the STATA Journal*, STATA Press.
- Stern, T. (2012), "Distributional effects of taxing transport fuel". *Energy Policy*, Vol. 41.
- Symons, E., S. Speck y J. Proops (2002). "The distributional effects of carbon and energy taxes: the cases of France, Spain, Italy, Germany and UK". *European Environment*, Vol. 12, No. 4.
- Terkla, D. (1984), "The efficiency value of effluent tax revenues". *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 107-123.
- The Allen Consulting Group (2006), *Deep cuts in greenhouse gas emissions: economic social and environmental impacts for Australia*. Report to the Business Roundtable on Climate Change.
- Timilsina, G. (2007), "The role of revenue recycling schemes in environmental tax selection: a general equilibrium analysis". *The World Bank Policy Research Working Paper*, No. 4388.
- Tissot, R. (2012), *Latin America's energy future*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Documento de trabajo No. IDB-DP-252.
- Tullock, G. (1967). "Excess benefit". *Water Resources Research*, Vol. 3, pp. 643-644.
- Van der Bergh, J. (2013), "Environmental and climate innovation: limitations, policies and prices". *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 80, No. 1.
- Van der Bergh, J., K. Button, P. Nijkamp y G. Pepping (1997), *Meta-analysis in environmental economics*, Springer Netherlands.
- Vandyck, T. y D. van Regemorter (2014), "Distributional and regional economic impact of energy taxes in Belgium". *Energy Policy*, Vol. 72.
- Vehmas, J. (2005), "Energy-related taxation as an environmental policy tool—the finish experience 1990-2003", *Energy Policy*, No. 33, Vol. 17.
- Wender, R. (2001), "An applied general equilibrium model of environmental tax reforms and pension policy". *Journal of Policy Modelling*, Vol. 23, pp. 25-50.
- Weynat, J. ed. (1999), The cost of the Kyoto Protocol: a multi-model evaluation. *Energy Journal*, special issue.
- Wissema, W., y R. Dellink (2007), "AGE analysis of the impact of a carbon energy tax on the Irish economy". *Ecological Economics*, Vol. 61, pp. 671-683.
- Wit, R. et al. (2002), *Economic incentives to mitigate greenhouse gas emissions from air transport in Europe*, CE Delft.
- Wit, R., B. Boon, A. van Velzen, M. Cames , O. Deuber y D. Lee (2005), *Giving wings to emissions trading—inclusion of aviation under the European Trading System (ETS): Design and Impacts*, CE Delft, Delft Report for the European Commission No. ENV.C.2/ETU/20004/0074r.
- Yacolca, D. (2013), *Reforma fiscal verde para Sudamérica*. Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT), Centro Interamericano de Administraciones Tributarias (CIAT) y el Instituto de Estudios Fiscales (IEF).
- Zhang, Z. (1998), "Macro-economic and sectoral effects of carbon taxes: a general equilibrium analysis for China". *Economic Systems Research*, Vol. 10, No. 2.

Anexo

Transferencia de beneficios: valores utilizados para las simulaciones del impacto potencial de un impuesto al carbono en América Latina

País	Intensidad energética (IE)	PIB industrial/ PIB total	Ingresos Fiscales/PIB	(X+M)/PIB
	<i>(en MJ/PIB PPA a precios de 2011)</i>	<i>Ind_PIB</i> <i>(En porcentajes)</i>	<i>IngFisc_PIB</i> <i>(En porcentajes)</i>	<i>Ap_comercial</i> <i>(En porcentajes)</i>
	2012	2010–2013	2010–2012	2012–2014
Argentina	3,85	25,6	11,2	24,3
Bolivia	6,01	29,6	18,7	69,5
Brasil	4,15	22,7	15,5	19,6
Chile	4,24	34,4	16,9	56,0
Colombia	2,38	33,7	13,4	31,4
Costa Rica	3,13	23,2	13,2	48,7
Ecuador	3,94	36,7	13,0	54,6
El Salvador	3,91	24,8	13,9	56,0
Guatemala	4,40	27,4	10,5	49,5
Honduras	6,06	25,7	14,6	101,9
México	4,00	34,3	8,9	61,7
Nicaragua	5,39	26,2	14,2	85,2
Panamá	2,59	20,1	10,7	98,8
Paraguay	4,48	26,7	12,1	87,4
Perú	2,78	36,1	16,2	42,7
Uruguay	3,13	22,6	19,1	39,6
Venezuela	6,05	48,4	12,0	32,8
América Latina	4,15	29,3	13,8	56,5

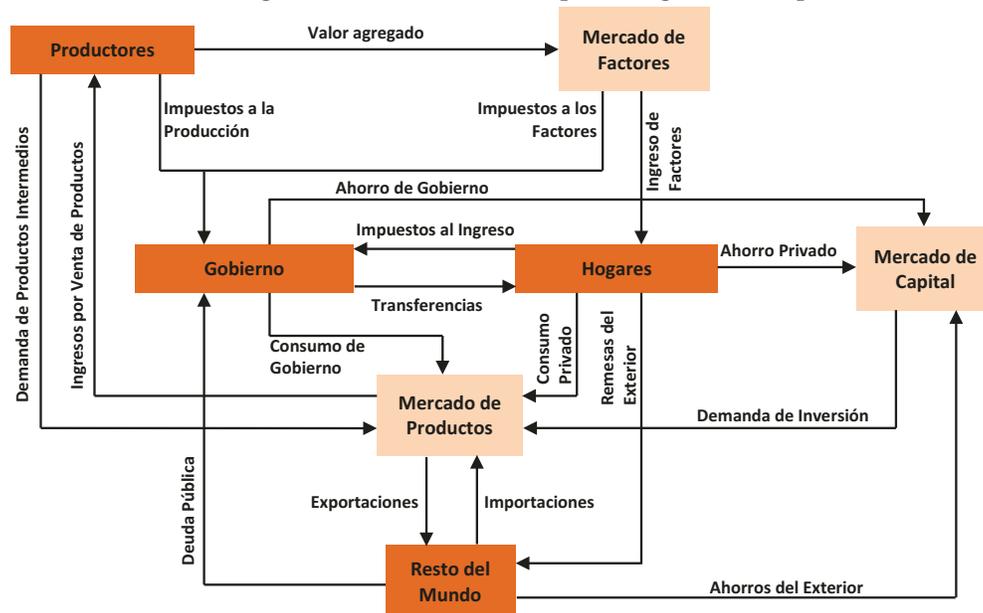
Fuente: Elaboración de los autores con base en información de CEPALSTAT y del Banco Mundial.

Apéndice

El análisis de los múltiples efectos de los impuestos al CO₂ en una economía puede hacerse con diversos instrumentos. Por ejemplo, en la literatura económica destaca el uso de modelos de equilibrio general computable (GEM) que permiten identificar diversos canales de transmisión¹⁵. La estructura de los modelos de GEM se basa en el ciclo circular de mercancías en la economía. Los principales agentes son: los hogares (consumidores) —dueños de los factores de producción—, los consumidores finales —que disponen de los bienes y servicios producidos— y las empresas —que arriendan los factores productivos a los hogares para producir bienes y servicios—. De esta forma, los modelos de GEM que analizan los efectos de los impuestos al carbono incluyen de manera explícita al gobierno que, en la mayoría de los casos, tiene como rol recolectar ingresos fiscales y redistribuir los ingresos a las empresas y hogares en forma de subsidios o transferencias sujetas a las reglas del balance fiscal. Los modelos suelen incluir al sector externo para determinar los efectos en la exportación e importación de mercancías. El diagrama A1 muestra, de manera simplificada, los diferentes sectores y flujos económicos que constituyen el ciclo circular de mercancías en los modelos GEM (Kim *et al.*, 2004; BID, 2015).

Las decisiones de los agentes en los modelos GEM son descritas a partir de fórmulas que simulan el comportamiento maximizador de los agentes, sujeto a restricciones que garantizan el equilibrio en los mercados y a elasticidades que determinan la capacidad de sustitución de los agentes. El equilibrio resulta de los principios de conservación del valor en la economía y el producto (BID, 2015). Aunque todos los modelos de GEM suelen tener una estructura similar, existen diferencias importantes en su aplicación generando una gran dispersión en los resultados obtenidos.

Diagrama A1
Estructura general de un modelo de equilibrio general computable



Fuente: Adaptado del Banco Interamericano de Desarrollo, (2015).

¹⁵ Por ejemplo, existen aplicaciones de modelos GEM para analizar las reformas fiscales y la planificación del desarrollo (Perry *et al.*, 2001; Gunning y Keyzer, 1995), en comercio internacional (Shields y Francois, 1994; Martin y Winters, 1996; Harrison *et al.*, 1997) o en regulación ambiental (Weyant, 1999; Bovenberg y Goulder, 1996; Goulder, 2002).

El objetivo de este estudio es analizar de manera preliminar los impactos potenciales que tendría un impuesto al CO₂ sobre el producto interno bruto (PIB) de los países de América Latina. La metodología consiste en el uso de un metaanálisis para identificar aquellas variables que determinan la magnitud del impacto que tendría el impuesto sobre el PIB. La base de datos utilizada contiene un total de 262 estimaciones obtenidas a partir de 35 estudios aplicados en 31 países. Los resultados de la metaregresión muestran que los efectos del impuesto están condicionados por diversos factores, tales como el nivel de desarrollo, la existencia de procesos de reciclaje fiscal, el nivel de apertura comercial y la estructura fiscal, entre otros. Estos resultados se emplean en un ejercicio de transferencia de beneficios para determinar el impacto potencial de un impuesto al CO₂ en el PIB de los países de la región. Los resultados sugieren que la aplicación de este impuesto podría tener un impacto positivo de largo plazo en el PIB de varios países de la región, incluso si no se considera ningún plan de reutilización de los ingresos fiscales. Los beneficios son mayores al considerar este tipo de planes, específicamente aquellos orientados a reducir los impuestos al trabajo y al capital.