

**Impactos distributivos de un impuesto al carbono en
Colombia: vínculo entre modelos de
microsimulaciones y equilibrio general**

**Germán Romero, Andrés Álvarez-Espinosa, Silvia Calderón y
Alejandro Ordóñez**

Germán Romero, Andrés Álvarez-Espinosa, Silvia Calderón y Alejandro Ordóñez

Impactos distributivos de un impuesto al carbono en Colombia: vínculo entre modelos de microsimulaciones y equilibrio general

Resumen: Este trabajo evalúa las implicaciones distributivas de un impuesto a las emisiones de dióxido de carbono sobre el bienestar de los hogares, a través de cambios en los precios de la canasta consumida. Para ello, se integran secuencialmente los resultados de un modelo de equilibrio general computable con un análisis a nivel de hogares a partir de modelos de microsimulaciones (MSM). Además, el análisis realizado compara los efectos de utilizar MSM aritméticas y comportamentales. Los resultados permiten concluir que el impuesto al carbono tiene efectos negativos en el bienestar de toda la población, siendo los hogares de mayores ingresos los más afectados y los de clase media los menos afectados. Finalmente, se presenta una serie de recomendaciones de política para lograr los efectos deseados, tanto en reducción de emisiones como en la incorporación de criterios de bienestar en las medidas de mitigación.

Palabras clave: impuesto al carbono, microsimulaciones, AIDS, QAIDS, mitigación, cambio climático.

Clasificación JEL: H20, Q50.

Redistributive impacts of a carbon tax in Colombia: the link between models of microsimulations and general equilibrium

Abstract: This paper examines the redistributive effects of taxing carbon dioxide emissions on household welfare through changes in prices of consumer goods. To this end, the results of a computable general equilibrium model are sequentially integrated with a household-level analysis based on microsimulation models (MSM). The analysis also allows for comparisons between the effects of using arithmetic and behavioral MSMs. Results show that a carbon tax has negative effects on population welfare, with higher-income households being the most affected and middle-class households the least. Finally, a number of policy recommendations for reducing emissions and including well-being criteria in mitigation measures are presented.

Keywords: carbon tax, microsimulations, AIDS, QAIDS, mitigation, climate change.

JEL Classification: H20, Q50.

Impacts distributifs d'une taxe carbone en Colombie: un lien entre les modèles de microsimulation et d'équilibre général

Résumé: Cet article évalue les implications distributives d'une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone sur le bien-être des ménages, à travers les changements dans les prix dans un panier de consommation. Les résultats d'un modèle d'équilibre général calculable sont séquentiellement intégrés à une analyse au niveau des ménages, basée sur des modèles de microsimulations (MSM). L'analyse effectuée compare les effets de l'utilisation de MSM arithmétique et comportementale. Les résultats permettent de conclure que la taxe carbone a des effets négatifs sur le bien-être de l'ensemble de la population, les ménages à revenu élevé étant les plus touchés et les ménages de la classe moyenne les moins touchés. Enfin, une série de recommandations politiques sont présentées pour atteindre les effets souhaités, à la fois en termes de réduction des émissions et d'intégration des critères de bien-être dans les mesures d'atténuation.

Mots-clés: taxe carbone, microsimulations, AIDS, QAIDS, atténuation, changement climatique.

Classification JEL: H20, Q50.

Impactos distributivos de un impuesto al carbono en Colombia: vínculo entre modelos de microsimulaciones y equilibrio general

Germán Romero, Andrés Álvarez-Espinosa, Silvia Calderón y
Alejandro Ordóñez*

–Introducción. –I. Revisión de literatura. –II. Metodología de evaluación de impactos distributivos por impuestos al carbono: MSM-MEG. –III. Resultados. –Conclusiones y recomendaciones. –Anexos. –Referencias.

doi: 10.17533/udea.le.n89a06

Primera versión recibida el 11 de octubre de 2017; versión final aceptada el 12 de marzo de 2018

* *Germán David Romero Otálora*: coordinador de Estudio sobre Impactos Económicos del Cambio Climático, Departamento Nacional de Planeación. Dirección postal: calle 26 No. 13-19 Edificio Fonade, Bogotá D.C. - Colombia. Dirección electrónica: gdromero@dnpp.gov.co.

Andrés Camilo Álvarez-Espinosa: contratista, Departamento Nacional de Planeación. Dirección postal: calle 26 No. 13-19 Edificio Fonade, Bogotá D.C. - Colombia. Dirección electrónica: acalvarez@dnpp.gov.co.

Silvia Liliana Calderón Díaz: directora de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Nacional de Planeación. Dirección: calle 26 No. 13-19 Edificio Fonade, Bogotá D.C. - Colombia. Dirección electrónica: scalderon@dnpp.gov.co.

Daniel Alejandro Ordóñez Pachón: investigador independiente. Dirección electrónica: daorpaz@hotmail.co.uk.

Este documento se realiza en el marco del Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático de la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Departamento Nacional de Planeación. Los autores agradecen la colaboración de Gabriel Piraquive y Gustavo Hernández, de la Dirección de Estudios Económicos del DNP, y a los participantes de los seminarios. Una versión preliminar del documento se publicó en la serie *Archivos de Economía* No. 439.

Introducción

El cambio climático es un fenómeno inequívoco y es causado por una mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (IPCC, 2014). A pesar de ser una problemática a nivel mundial, los impactos del cambio climático (CC) son heterogéneos entre países. Colombia tan solo emite el 0,46 % del total de emisiones del mundo (IDEAM, 2015) y es, al mismo tiempo, un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático en términos tanto físicos como económicos (DNP & BID, 2014). Esto ha llevado a que en términos de política pública el país haya avanzado en la priorización de acciones para la reducción de emisiones y la disminución de los efectos negativos del cambio climático¹.

Lograr la reducción de las emisiones requiere de apoyo del Gobierno nacional, tanto en la identificación de medidas de mitigación, como en la implementación de medidas que logren interiorizar las acciones encaminadas en un bienestar social. Una forma efectiva para lograr este objetivo es enviar señales de mercado que permitan la internalización de la contaminación. Entre las medidas aplicadas internacionalmente se destacan los sistemas de comercio de emisiones y los impuestos al carbono. El primero consiste en un límite a las emisiones, lo que garantiza la reducción de gases, y el segundo impacta el precio de transacción, haciendo más caros los bienes con una alta huella de carbono, pero no da certeza de la reducción total de las emisiones. No obstante, dada la facilidad administrativa, los impuestos son más comunes que los sistemas de comercio de emisiones.

Los impuestos a las emisiones de CO₂ —o impuesto al carbono— no tienen como objetivo aumentar el recaudo del Gobierno sino alinear los incentivos

¹ El Gobierno de Colombia firmó en 2015 el acuerdo de París, que busca lograr una reducción de GEI y en el que cada país presentó un compromiso para lograr su reducción neta del 20 % al 2030. Paralelamente se discutió internacionalmente mecanismos de mercado, como el mercado de emisiones de carbono y el impuesto al carbono, que permitan enviar las señales adecuadas para reducir las emisiones de GEI de forma costo-efectiva. Otras estrategias que se han implementado en el país son: el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo Carbono (ECDBC), la Estrategia de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Ambiental (REDD+) y la Estrategia Financiera para la protección de desastres.

de las empresas y los hogares, de tal manera que se logre una disminución en las emisiones de GEI, sin afectar el crecimiento del país².

No obstante, es importante conocer los efectos que trae la inclusión de un impuesto, incluyendo los efectos causados por la distorsión que genera en los mercados. En particular, la literatura se enfoca en los efectos negativos sobre el consumo del bien gravado y sobre los otros sectores. De esta manera, la discusión sobre la imposición de los impuestos, más allá de quién paga y cómo se realiza el recaudo, está relacionada con los efectos distributivos o microeconómicos asociados al bienestar de los hogares, las alteraciones en el empleo y los efectos en la productividad fruto del doble dividendo (Fullerton & Metcalf, 1997; Liang, Lovejoy & Lee, 1998).

Como muestra Lasso (2008), las distorsiones en los precios a los que se ve enfrentado cada hogar pueden influenciar de manera importante la pobreza y el bienestar de los hogares. Por tanto, la estimación o los resultados sobre cambios en el bienestar pueden interpretarse como el dinero que el Estado debe transferirles a los hogares para que mantengan su mismo nivel de consumo.

Para realizar la estimación del efecto de impuestos al carbono sobre el bienestar se utilizan diferentes aproximaciones metodológicas, entre ellas se destacan los modelos de microsimulaciones (MSM). De acuerdo con Ballas et al. (2005), los MSM son una metodología que permite identificar los efectos en la heterogeneidad de la población, en particular examinando los cambios en el comportamiento de los individuos dentro del hogar por efecto de un impuesto y analizar los impactos de cambios políticos o de efectos exógenos. Sin embargo, el uso aislado de MSM no considera los efectos macroeconómicos –o de equilibrio general– derivados de la política, ni en el corto ni en el largo plazo (Colombo, 2010).

Para capturar algunos de estos efectos, en esta investigación se usan dos modelos de MSM, uno aritmético (canastas de consumo fijas) y otro comportamental (canastas de consumo variables) (Deaton & Muellbauer, 1980),

² La literatura relacionada con impuestos verdes define el doble dividendo en este tipo de impuestos, como reducir las emisiones de GEI y ser capaz de generar ingresos fiscales o beneficios, sin afectar el crecimiento económico.

los cuales usan como insumo información consistente macroeconómicamente generada por un modelo de equilibrio general (aproximación *top-down*, o MSM-MEG). Gracias a la información secuencial proveniente de un modelo de equilibrio general (MEG), las MSM comportamentales obtienen la ventaja de permitir estimar los efectos sobre los hogares (vía ajuste en su canasta de consumo), debido a cambios en precios, así como la pérdida de bienestar en términos de consumo de los hogares.

Además de la implementación metodológica, el objetivo de este documento consiste en complementar el ejercicio realizado por Calderón et al. (2016), quienes analizan los posibles efectos macroeconómicos y sobre la matriz energética de un escenario de impuesto al carbono, sin considerar los efectos distributivos de la medida. Para esto se evalúan los resultados distributivos de los impuestos al carbono y usa como insumo para los MSM los resultados del modelo de equilibrio general computable de cambio climático para Colombia (MEG4C).

Por tanto, este documento aporta a la literatura en dos aspectos; en primer lugar, complementa el análisis de impactos distributivos de impuestos al carbono y, en segundo lugar, establece una metodología que integra un MEG con MSM comportamentales, permitiendo así evaluar impactos de un impuesto al carbono a nivel de hogares.

Para cumplir con los objetivos, el documento está organizado de la siguiente forma: además de esta introducción, en la sección I, se realiza la revisión de la literatura metodológica y empírica; la sección II describe las metodologías de evaluación que vincula las MSM a partir de la información de MEG; los resultados se presentan en la sección III, donde se muestra la estructura de las cestas de consumo de los hogares (sección A), y los resultados de las MSM aritméticas (sección B) y de las MSM comportamentales (sección C); posteriormente, se mencionan las conclusiones y recomendaciones de políticas para la inclusión de criterios de bienestar en la política de mitigación de cambio climático; finalmente, se presentan los anexos y las referencias.

I. Revisión de literatura

La revisión de la literatura se enfoca en dos tipos de estudios: por un lado, la revisión de la literatura relacionada con aspectos metodológicos usados para evaluar impactos distributivos de impuestos y, por otro lado, se exploran estudios que cuantifican los efectos en los hogares debidos a impuestos al carbono y que usan metodologías similares a la propuesta en esta investigación.

A. Aspectos metodológicos para la evaluación de impactos distributivos

Existen varias metodologías que permiten evaluar el efecto distributivo de los impuestos. Colombo (2010) referencia tres métodos que buscan la consistencia macroeconómica junto con la heterogeneidad de los agentes. El primer método es la incorporación directa de diferentes tipos de hogares en las simulaciones de un MEG, esto se hace mediante el uso de encuestas para calibrar los distintos parámetros de consumo final y de participación en las remuneraciones de los factores que posee cada tipo de hogar. La segunda opción es el acoplamiento iterativo entre un MEG y un MSM (*hard link*), lo que implica compartir un conjunto de información y definir criterios de convergencia entre los dos modelos hasta obtener resultados armonizados. La tercera aproximación es la vinculación secuencial de los resultados de MEG a un MSM conductual (MSM-MEG) a través de un conjunto de ecuaciones específicas (*soft link*). Esta investigación opta por esta última opción.

Bourguignon y Spadaro (2006) plantean que la interacción secuencial entre los resultados de un MEG y un MSM es ideal para la identificación de los efectos de una política pública. Esta integración secuencial implica que las decisiones de los hogares obedecen a una retroalimentación en el comportamiento del MEG.

Steiner (2012) realiza ejercicios de modelación de la reforma tributaria para los hogares alemanes utilizando MSM aritméticas. El autor lleva a cabo simulaciones en el tiempo de la disminución de los ingresos de los hogares, evalúa los posibles arbitrajes y las sustituciones en el consumo para compensar su caída. Por su parte, Janský (2013) usa MSM comportamentales y estima los efectos de la reforma arancelaria, en la República Checa, de un impuesto al

valor agregado que genera una distorsión en los precios. El estudio incorpora estimaciones de demanda por medio del modelo *Almost Ideal Demand System* (AIDS) para un periodo de 2001 a 2011, lo que permite estimar variaciones en las canastas de consumo y en las elasticidades de sustitución entre sectores, y ante cambios en el ingreso de los hogares.

Un elemento importante de las MSM es que sus resultados se pueden presentar en términos espaciales. Ballas, et al. (2005) muestran que una de las aplicaciones más importantes del uso de las MSM son las diferencias regionales, pues reconocen los efectos geográficos.

B. Resultados empíricos de los efectos distributivos de impuestos al carbono

Heindl y Löschel (2015) indican que hay rezagos en la literatura sobre la evaluación del impacto de impuestos verdes en países en desarrollo, entre ellos el impuesto al carbono. Lo anterior gana relevancia al concluir que los resultados obtenidos en países desarrollados son heterogéneos y no se puede generalizar cuál es el efecto distributivo de una reforma ambiental con énfasis en el uso de energéticos de origen fósil. Otra brecha identificada por los autores es el tipo de aplicación metodológica, pues no se integran la perspectiva macroeconómica y las consideraciones de largo plazo, es decir, es habitual el uso de modelos MSM sin interacción con un MEG.

No obstante, y de forma general, se puede decir que la aplicación de un impuesto al carbono tiene efectos regresivos que pueden ser neutralizados –o incluso volverlos progresivos– cuando se implementan medidas de destinación específicas del recaudo, que compensen a los hogares por el aumento en precios ocasionado por la internalización de los efectos ambientales debidos al uso de combustibles (Heindl & Löschel, 2015).

Por ejemplo, Buddelmeyer et al. (2012), haciendo uso de un modelo de MSM, evalúan el efecto sobre la distribución del ingreso del impuesto al carbono establecido en Australia. Comprobaron que hay un efecto regresivo, pero cuando se establece una transferencia directa a los hogares con los recursos recaudados, el resultado es un efecto progresivo. Ekins et al. (2011) encuentran que el efecto de un impuesto a los energéticos es neutral cuando

se usa su recaudo para reducir los impuestos al ingreso en la Unión Europea en conjunto.

Para el caso de Alemania, Bach et al. (2002) simularon un impuesto al consumo de combustibles y hallaron que hay efectos regresivos porque se reduce el ingreso disponible. Sin embargo, cuando la destinación específica del recaudo es una reducción en los gastos de seguridad social de los hogares, los autores encuentran un doble dividendo, no hay regresividad y hay reducción en el impacto ambiental.

Brännlund y Nordström (2001) determinan, para la economía sueca, efectos moderadamente regresivos, incluso con los dos mecanismos de destinación de los recursos recaudados: reducir el impuesto al valor agregado o aumentar los subsidios al transporte público.

En Bélgica se evalúa el impuesto al carbono específico para el sector transporte con dos opciones, que son excluyentes, de destinación del impuesto: la primera es aumentar en 5 % el ingreso a cada hogar para ser usado en el pago por conceptos de seguridad social (pensión, seguro de desempleo), la otra opción es reducir los pagos de seguridad social en un 2 %. El estudio revela que los hogares de bajos ingresos se ven beneficiados cuando el recaudo se usa para pagar directamente la seguridad social, mientras que el resultado del impuesto al carbono es regresivo cuando se opta por destinar el recaudo a reducir el pago de seguridad social. En este caso, fomentar la demanda es mejor que fomentar la producción (Vandyck, 2013; Vandyck & Van Regemorter, 2014).

Callan et al. (2009) analizan las implicaciones distributivas del impuesto de 20 euros al carbono en Irlanda. La investigación determinó que el efecto es neutral a partir de un 80 % de devolución de los recursos vía transferencia a los hogares. Si no se implementa un mecanismo de destinación en el recaudo se obtiene efectos regresivos importantes.

En España los impuestos a los bienes energéticos tienen efectos regresivos, ya que estos bienes son necesarios; pero dichos efectos se pueden compensar con una reducción del impuesto al valor agregado (Labandeira, Labeaga & Rodríguez, 2004 y 2009).

Finalmente, para el caso de Italia y Alemania, se encuentran resultados similares: un impuesto al carbono se distribuye progresivamente, incluso en ausencia de destinación específica de los recursos recaudados. En este caso se grava a los combustibles para el sector transporte, y por ello los hogares con bajos ingresos se ven menos afectados por el impuesto, en comparación con los hogares de mayores ingresos (Tiezzi, 2005; Bork, 2006).

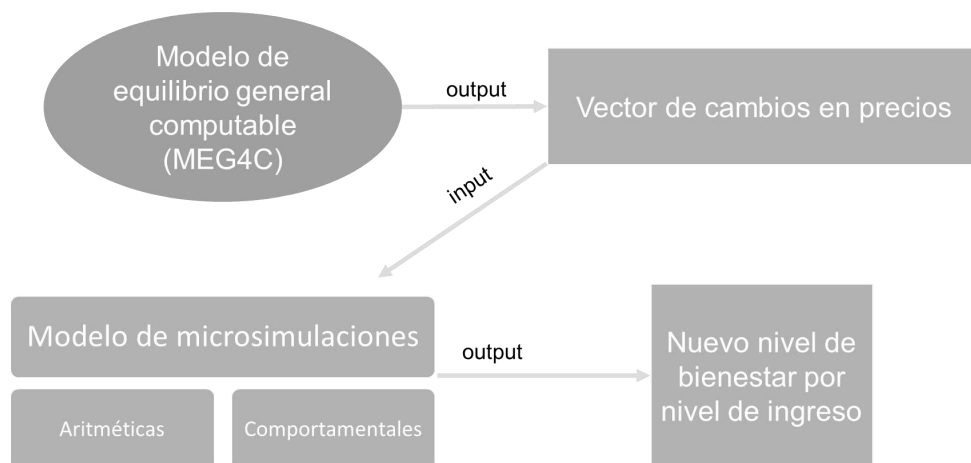
Tras realizar la revisión de la literatura se puede concluir que las metodologías disponibles para evaluar el efecto en bienestar de un impuesto al carbono no han sido aplicadas a contextos de un país en vías de desarrollo como lo es Colombia.

II. Metodología de evaluación de impactos distributivos por impuestos al carbono: MSM-MEG

En ese documento, se considera que el impuesto verde —o impuesto al carbono— busca, por un lado, reducir las emisiones de CO₂e mediante mejoras tecnológicas y, por otro lado, que se lleve a cabo un consumo eficiente de energía. No obstante, la inclusión de un impuesto implica un aumento en los costos de producción, lo que causa aumentos de precios y disminución de la producción; esto, a su vez, repercute en los precios de los diferentes bienes finales y afecta el nivel de consumo, o el bienestar, de los hogares.

La obtención de los impactos distributivos de los impuestos al carbono se efectúa en dos pasos. El primero consiste en modelar dos escenarios futuros de impuesto al carbono utilizando el MEG4C, además de un escenario de referencia en el que se modela la economía sin ninguna distorsión adicional (*business as usual*). Comparando los resultados de cada escenario, se obtienen los cambios en emisiones y en precios de los bienes finales, manteniendo la consistencia macroeconómica. Por tanto, el cambio de precios responde a los equilibrios temporales (Calderón, et al. 2016). El segundo paso consiste en incorporar los cambios de precios resultantes de la modelación macroeconómica, en los escenarios base y con impuesto, en dos modelos de MSM, uno aditivo y otro comportamental (ver Figura 1).

Figura 1. Metodología general de impactos distributivos de un impuesto (MSM-MEG)



Fuente: elaboración propia a partir de Colombo (2010).

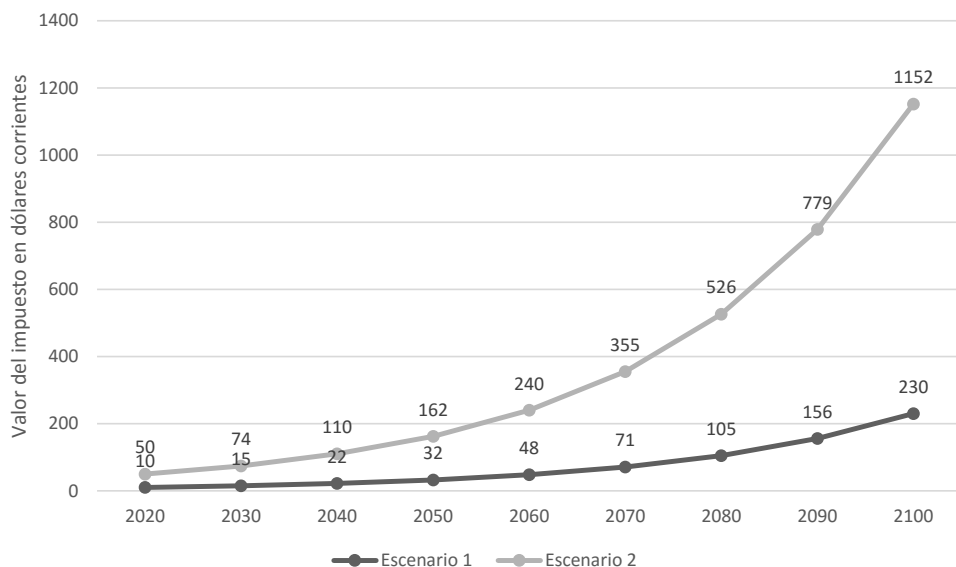
Los escenarios que se modelaron corresponden a impuestos de 10 y 50 dólares por tonelada emitida de CO₂eq, que fueron propuestos en la evaluación realizada por Calderón et al. (2016) y que son los insumos para las microsimulaciones. Se considera que este impuesto se instaura en la economía en el 2015 y anualmente crece en 4% con el objetivo de lograr una decarbonización total en la matriz de energía de Colombia y lograr un escenario de estabilización de clima global. El comportamiento decenal de los escenarios se muestra en el Gráfico 1. Adicionalmente, para poder realizar comparaciones del impacto se construye un escenario de referencia en el que se modela la economía sin ninguna distorsión.

Este impuesto no difiere del implementado a finales del 2016 por el Gobierno colombiano: en la ley 1819 de dicho año, se incluyó, entre otros³, el impuesto al carbono. Este impuesto consiste en un gravamen de 5 dólares la tonelada de emisión, que tiene una tasa de crecimiento de la inflación más un punto porcentual, y al igual que en esta modelación, el valor de cada combustible fósil está determinado por el contenido de carbono. Sin embargo, en el

³ En materia ambiental se incluyeron también el impuesto a las bolsas plásticas e incentivos específicos, como la posibilidad de importación de vehículos eléctricos sin IVA.

decreto se excluye al carbón mineral, en esta modelación se incluyen todos los combustibles fósiles. Por último, el cobro se realiza al momento de la primera compra de cada combustible; lo que facilita la administración del impuesto.

Gráfico 1. Escenarios del impuesto al carbono



Fuente: elaboración propia a partir de Calderón et al. (2016).

A. Integración con el MEG4C

El MEG4C es un modelo de equilibrio general desarrollado por la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Departamento Nacional de Planeación (DPN) en el marco del Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático (EIECC) (Álvarez et al., 2014). Una de las características de este modelo, frente a otros MEG, es que permite la sustitución entre el capital y la energía, lo que permite identificar inversiones en infraestructura inducidos por aumentos de precios en los bienes energéticos. Adicionalmente, cuenta con un módulo sobre emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico. Esto permite identificar los efectos en las emisiones de CO₂eq

ante la inclusión de un impuesto y facilita la estimación de las sustituciones a largo plazo de los sectores económicos. La versión del modelo utilizado corresponde a una representación de la economía en 16 sectores, a partir de la matriz de contabilidad social a precios de 2010 (Calderón et al., 2016).

Los resultados de la modelación del impuesto al carbono muestran que los precios de los bienes crecen a lo largo del tiempo, exceptuando los del sector energético, minero-energético, manufactura y agua (Calderón et al., 2016)⁴. Los efectos son similares en comportamiento en un impuesto de 50 dólares y en uno de 10 dólares. Como era de esperar, la magnitud de los efectos es mayor en el caso del impuesto de 50 dólares (ver Anexo 3).

Para incluir los resultados del MEG4C en las MSM, se creó una correspondencia entre los sectores del MEG4C y la cesta de consumo de los hogares establecida para el MSM se realiza con la información de la Encuesta de Calidad de Vida (ECV)⁵ del 2011. Esta encuesta permite identificar el consumo y los ingresos de cada uno de los hogares, así como información demográfica relevante.

La relación entre el MEG4C y la cesta de consumo elaborada a partir de la ECV se realiza agrupando el consumo de los hogares en los sectores que se representan en el MEG4C, como se presenta en la Tabla 1.

Es importante anotar que el consumo de los hogares en los sectores forestal, maquinaria y minería no tienen un equivalente en las encuestas de hogares. El sector de construcción, por su parte, se ve reflejado en la compra de vivienda; sin embargo, dado que el estudio se hace por hogar, incluir este choque implica que el mismo hogar realiza compras de vivienda año tras año, razón por la cual se omite del análisis.

La ECV permite diferenciar por hogar o grupo de hogares, en la sección III A. se presenta la composición del consumo de los hogares agrupados por quintil de ingreso, que es una agrupación que se usará para presentar los resultados de las MSM.

⁴ Como en la mayoría de MEG, los precios son relativos y reales a partir de un numerario.

⁵ Encuesta representativa a nivel nacional y departamental.

Tabla 1. *Correlación entre sectores del MEG4C y sectores de la ECV*

Sector MEG4C	Gasto de los hogares relacionado con
Agrícola	Papa, frijol, plátano, arveja, banano y panela
Alimentos	Pan, salchichas, arroz, aceite, azúcar, dulce, enlatados, galletas, gaseosas, otros precocidos, bebidas y bebidas alcohólicas
Comercio	Restaurantes, hoteles, reparación de vehículos
Construcción/ ^Ω	Compra de viviendas
Energético	Energía y gas
Forestal/ ^Ω	n.e.
Ganadero	Carne, leche, Gallinas, cultivo de animales
Manufactura	Cigarrillos, fósforos, calzado, revistas, productos de aseo del hogar, productos de aseo personal, algodón, medias veladas, bombillos, medicamentos, ropa, reparación de calzado, libros, reparación mueble, juegos, muebles, colchones, ollas, nevera, vehículos, computador, accesorio para pc, celulares, consolas de juego, y cámaras
Maquinaria/ ^Ω	n.e.
Minería/ ^Ω	n.e.
Minero-energético	Gasolina, combustible para cocina
Pesca	Pescado
Servicios	Parqueadero, apuestas, servicios domésticos, café internet, lavado, peluquería, entretenimiento, empleada doméstica, internet, crédito, parabólica, fax, reparación vivienda, cuotas extraordinarias, seguros, mascota, alcantarillado, basura, teléfono, arriendo y factura celular.
Transporte	Bus, transporte intermunicipal y tiquetes de avión
Vivienda	Administración
Acueducto	Servicio de acueducto

Nota:^Ω Los hogares no consumen sectores de construcción, forestal, maquinaria y minería; por lo tanto, los choques en precios en estos sectores no afectan directamente el bienestar de los hogares. n.e (no equivalente).

Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2014) y MEG4C.

Dependiendo de la modelación implementada, estas canastas pueden permanecer fijas o variar en su composición. Si los consumidores no responden al cambio en precios alterando su canasta de consumo, las MSM se conocen como aritméticas; en caso contrario, las MSM son comportamentales. A continuación, se describen los dos modelos.

B. Microsimulaciones aritméticas

La estimación de los efectos en el cambio del bienestar se realiza calculando la diferencia del consumo final con los precios de los escenarios de impuestos y el consumo con el precio de referencia. En ese sentido, dado que los hogares son tomadores de precios, el cálculo representa el valor que se debe transferir a un hogar para lograr que consuma la misma canasta, asumiendo

que no existen efectos de ingreso o de sustitución que alteren la composición de la canasta.

La ecuación 1 muestra que para el hogar (h), el cambio del bienestar del hogar ($\Delta B_{h,t}$) en un momento específico del tiempo (t) es igual a la suma de cada una de las participaciones en el gasto ($w_{h,j}$) del sector (j) veces en ese hogar (h) por la diferencia de precios entre el escenario de referencia ($P_{j,t}^{BAU}$) y los precios que se generan producto del impuesto ($P_{j,t}^T$).

$$\Delta B_{h,t} = \sum_j^J w_{h,j} (P_{j,t}^{BAU} - P_{j,t}^T). \quad (1)$$

La ecuación anterior es cierta si se considera que la canasta de consumo del bien j no varía en el tiempo y resume el resultado de una MSM aritmética. Sin embargo, este supuesto puede resultar muy fuerte, pues ante un aumento relativo del precio de un bien con respecto a otros, se espera que el consumo de éste caiga. Incorporando este hecho, la ecuación se puede entonces reescribir de la siguiente manera:

$$\Delta B_{h,t} = \sum_j^J \left(w_{h,j}^{BAU} P_{j,t}^{BAU} - w_{i,j}^T P_{j,t}^T \right). \quad (1')$$

En donde, el término $w_{h,j}$ tiene un superíndice para definir la canasta que asume en cada tipo de escenario. Estos posibles cambios en la estructura de la canasta de consumo motivan la construcción de las MSM comportamentales.

C. AIDS y QAIDS

Para poder estimar la sensibilidad de la canasta del consumo e identificar los cambios en la demanda, varios autores plantean diferentes estrategias. Por ejemplo, Cortés y Pérez (2010) estiman el cambio de la canasta a través de estimaciones de demanda no paramétricas que capturan los efectos de la sustitución entre bienes. Esto se realiza por medio de la metodología AIDS.

La estimación del AIDS es una metodología planteada en el trabajo de Deaton y Muellbauer (1980). En este artículo se estima una función de demanda para los hogares que cumpla con la ley de demanda, es decir que, ante aumentos de precios, las cantidades que se consumen disminuyen y, ante caídas de precios en un bien, se afecta el consumo de bienes sustitutos.

El modelo toma como punto de partida la teoría de maximización de utilidad del consumidor, dada una restricción de presupuesto. Se modela un conjunto de bienes $i = 1 \dots N$ y hogares $h = 1 \dots H$. La participación de un bien en el consumo del hogar está dada por $w_{ih} = \frac{p_i q_i}{\sum p_i q_i}$. De acuerdo con las condiciones de maximización clásicas y sin incorporar el ahorro, se cumple que el consumo (precios por cantidades) es igual al ingreso del hogar ($x_h = \sum p_i q_i$).

A partir de lo anterior, Deaton y Muellbauer (1980) derivan la ecuación 2 aplicando las condiciones de maximización. En esta ecuación es posible identificar los parámetros de sensibilidad (γ_{ij} y β_i) del bien i o j ante cambios de precios y de los otros precios, reflejado en un índice de precios P_h y definido en la ecuación 3.

$$w_{ih} = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log(p_{jh}) + \beta_i \log\left(\frac{x_h}{P_h}\right) + \varepsilon_{ih}, \quad (2)$$

$$P_h = \alpha_0 + \sum_j \alpha_j \ln p_{ij} + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \gamma_{jk} \ln p_{jh} \ln p_{kh}. \quad (3)$$

La formulación de este modelo, como anotan Cortés y Pérez (2010), es muy flexible, pues no restringe las elasticidades y permite replicar cualquier estructura de demanda en comparación con modelos de sistema lineal de gasto. No obstante, tiene una limitación y es considerar que las curvas de Engel son lineales⁶. Banks, Blundell y Lewbel (1997), por tanto, proponen incorporar un factor cuadrático en el ingreso; esta modificación es conocida como QAIDS.

⁶ La curva de Engel es la relación entre el consumo de un bien y el aumento del ingreso.

En esencia, el QAIDS mantiene todas las propiedades del AIDS, pero incorpora un factor al cuadrado en el ingreso. Por tanto, las proporciones de cada uno de los bienes están dadas por:

$$w_{ih} = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log(p_{jh}) + \beta_i \log\left(\frac{x_h}{a(P_h)}\right) + \frac{\lambda}{b(P_h)} \left\{ \ln \left[\frac{x_h}{a(P_h)} \right] \right\}^2 + \varepsilon_{ih}, \quad (4)$$

donde $a(P_h) = P_h$ corresponde al P_h que se definió anteriormente, y $b(P_h) = \prod_i p_{ih}^{\beta_i}$.

La estimación de estos modelos se realiza de manera no restringida, como plantea Poi (2010), teniendo como restricción que $\sum_j \gamma_{ij} = 0 \forall j$. Con este sistema de ecuaciones se realizan las estimaciones de las participaciones considerando alguna variación en los precios.

Como se mostró en las ecuaciones, es necesario contar con un precio por hogar. Por ello, se transformó el precio que reporta el MEG4C para cada sector, multiplicando por el índice de precios (IPC) que reporta el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para cada departamento y nivel de ingreso. Adicionalmente, siguiendo a Cortés y Pérez (2010), se usaron variables de tamaño del hogar como *proxy* de variaciones entre hogares.

Hay una serie de supuestos que no deben pasar desapercibidos. En la modelación de MSM, la estructura de los hogares se mantendrá constante en todo el periodo, lo cual implica que la composición poblacional no se afecta. No obstante, este no es un supuesto que afecte de manera importante los resultados, porque una de las condiciones del MEG4C es una tasa de participación en la economía constante. También el consumo en compra de viviendas se omitió del cálculo porque no sería correcto modelar un hogar con patrones de consumo constantes en este bien, pues esto implicaría que el mismo hogar compra vivienda cada año, y esto conlleva a sobreestimar los resultados.

Los cambios en el bienestar a los que se hace referencia en las MSM únicamente se relacionan con el efecto en precios debidos a la internalización de

la externalidad que genera el consumo de combustibles fósiles en la producción. No se incluye el aumento del bienestar relacionado con la reducción de emisiones de GEI y la mitigación del cambio climático.

Finalmente, dadas las características del MEG4C en el que se presenta desempleo constante y precios relativos móviles en la economía, se decide modelar bajo el supuesto de que los hogares son tomadores de precios, y no hay afectaciones en la oferta laboral (para no generar inconsistencias con el desempleo constante). No obstante, en análisis futuros estos supuestos se podrían suavizar.

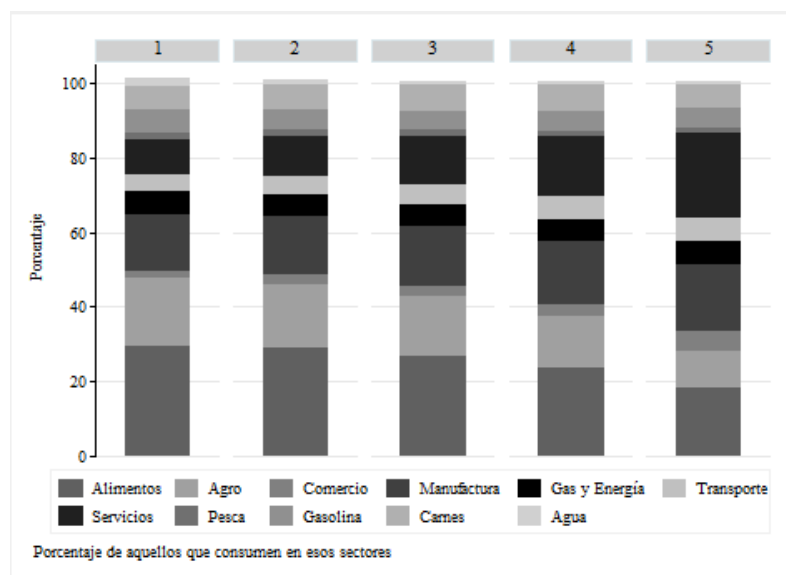
III. Resultados

A. Composición del consumo de los hogares

La canasta de consumo inicial para los hogares agrupados por quintil de ingreso permite identificar que los hogares de menores ingresos tienen una mayor participación en algunos sectores. Los resultados muestran aspectos comentados en la literatura como la sensibilidad de los hogares de bajos recursos a cambios en los precios de los alimentos. Mientras que el promedio de consumo de estos hogares es de cerca del 30 %, en el grupo de más altos ingresos la participación se reduce al 20 %, y toma importancia el consumo de servicios y productos manufactureros de sectores de poca participación en los hogares de menores ingresos (ver Gráfico 2).

Adicionalmente, dado que hay un interés en identificar los cambios regionales, se procede a agrupar la población por su ubicación geográfica. La menor proporción de gasto promedio en alimentos se observa en Bogotá D.C, en donde alcanza cerca de 13 %, mientras que en el departamento de Chocó y Córdoba es superior al 30 %. Por su parte, la proporción del consumo en manufacturas es relativamente estable en todos los departamentos, y oscila entre el 11 % y el 16 %. La participación del sector de alimentos y de productos manufactureros en cada uno de los departamentos del país se presenta en el Gráfico 3.

Gráfico 2. *Peso relativo del gasto sectorial de los hogares en el total (5 grupos de ingresos)*



Nota: el porcentaje no incluye a los hogares que no consumen en ese sector.

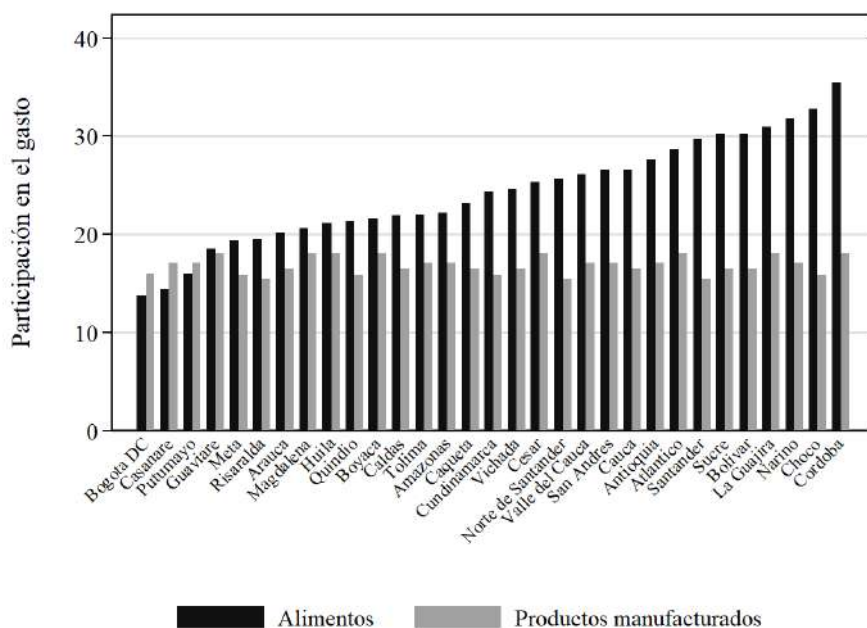
Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2014).

B. Impactos distributivos de un impuesto al carbono: microsimulaciones aritméticas

Se presentan los resultados de las MSM asumiendo que la canasta de consumo se mantiene constante⁷. En este caso, se encuentra que la incorporación del impuesto tiene efectos positivos en el bienestar de los hogares de los quintiles de ingresos más bajos, pues logran consumir más; en cambio, los hogares de ingresos altos tienen efectos negativos en el bienestar. Esta relación es similar desde 2015 (año en que se incorpora el impuesto) y el 2100 (Gráfico 4).

⁷ Aplicando la ecuación 1.

Gráfico 3. *Peso relativo del gasto de los hogares de los sectores de alimentos y manufacturas (32 departamentos)*

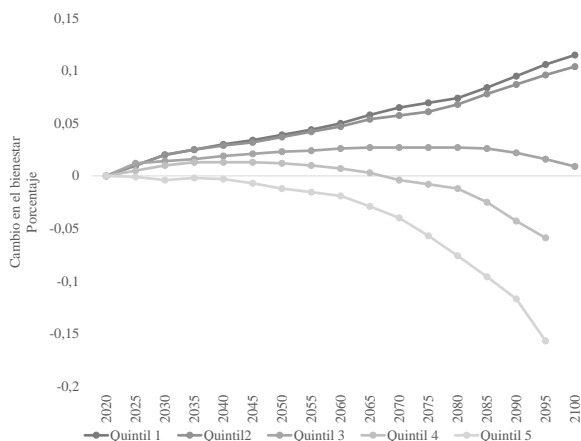
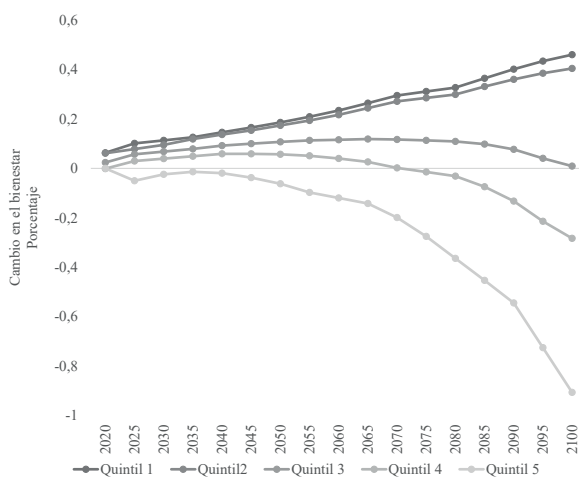


Nota: el porcentaje incluye solo a los hogares que consumen en ese sector.

Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2014).

La diferencia en el bienestar de los grupos de ingresos se debe a que el cambio en precios de los sectores de alimentos y agrícola favorecen el consumo de los hogares de quintiles 1 y 2, mientras que el aumento en los precios de los sectores energético y transporte afectan en mayor medida a los quintiles más altos.

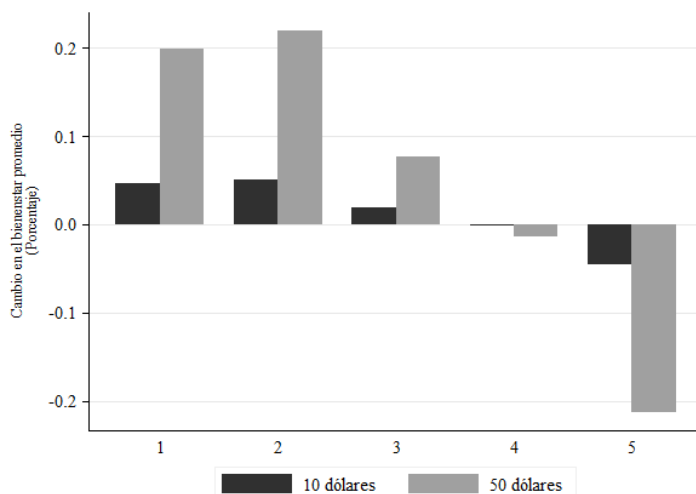
En promedio, los hogares de los ingresos más bajos tendrían un aumento en el consumo de 0,2% en todo el periodo considerado (2015 a 2100). Por su parte, los hogares del quintil más alto tienen un efecto negativo cercano al 0,2%. Estos resultados permitirían concluir que un impuesto al carbono es progresivo (Gráfico 5).

Grafico 4. *Cambios en el bienestar en el tiempo respecto al escenario de referencia**(a) Escenario 10 dólares**(b) Escenario 50 dólares*

Fuente: cálculos propios.

Sin embargo, como se ha venido advirtiendo, los resultados anteriores están sesgados en la medida que las canastas de los hogares no se ven afectadas por los precios. A continuación, se presenta los resultados considerando este hecho.

Gráfico 5. *Cambios en el bienestar promedio*



Fuente: cálculos propios.

C. Impactos distributivos evaluados en microsimulaciones comportamentales: QAIDS

La estimación de QAIDS se hace mediante un sistema de ecuaciones simultáneas, aunque las medidas de bondad de ajuste que se presentan en la Tabla 2 se realizan para cada ecuación estimada. Los parámetros de sustitución calculados entre sectores se incluyen en el Anexo 1 de este documento.

Tabla 2. *Bondad de ajuste de la estimación por ecuación*

Sector (w_i)	ECM	R-sq
Agrícola	10,04	0,76
Alimentos	13,82	0,82
Comercio	7,28	0,52
Energía	5,97	0,61
Ganadería	5,68	0,71
Manufactura	11,50	0,73
Energía (Gasolina, Carbón...)	6,85	0,63
Pesca	2,86	0,61
Servicios	14,40	0,60

Fuente: cálculos propios.

Los resultados de los parámetros muestran que la relación entre los ingresos y los precios es positiva para todos los sectores excepto para ganadería y transporte, como se señala en la Tabla 3. Si bien estos parámetros no corresponden a la elasticidad, sí son la base para su estimación.⁸

Tabla 3. *Parámetros estimados para cada uno de los ponderadores^a*

Sector (w_i)	α_i	β_i	λ_i
Agrícola	14,75*** (0,153)	0,000829 (0,000569)	0,003*** (0,002)
Alimentos	16,37*** (0,210)	0,00365*** (0,000314)	0,12*** (0,007)
Comercio	12,49*** (0,130)	0,0175*** (0,000332)	0,002 (0,003)
Energía	10,02*** (0,121)	0,00804*** (0,000412)	0,009*** (0,003)
Ganadería	7,256*** (0,126)	-3,20e-05 (0,000595)	0,008 (0,001)
Manufactura	12,14*** (0,207)	0,00515*** (0,000273)	0,10*** (0,01)
Energía (Gasolina, Carbón...)	11,56*** (0,107)	0,00255*** (0,000209)	-0,03*** (0,004)
Pesca	6,196*** (0,0693)	0,00907*** (0,000569)	0 (0,007)
Servicios	17,40*** (0,216)	1,302*** (0,0111)	0,003 (0,001)
Transporte	0,00613*** (0,000416)	-0,359*** (0,0108)	0 (0)

Nota: ^a La matriz de parámetros de sustitución entre sectores (γ) se encuentra en el Anexo 1.

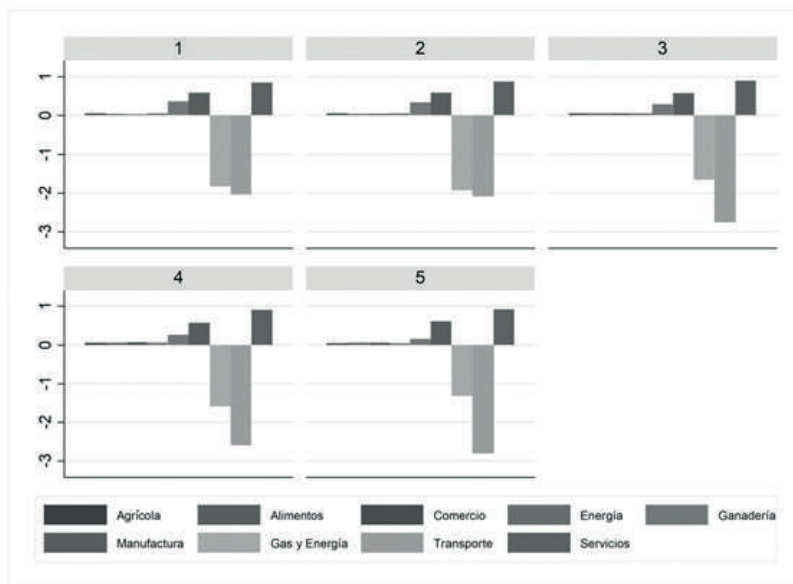
Fuente: cálculos propios.

A partir de lo anterior, es posible estimar el cambio en la participación de cada producto en la canasta final debido a la distorsión en precios. Los sectores que se ven afectados negativamente (disminución del consumo) frente al escenario de referencia son el minero-energético y el de transporte. Estos resultados se deben a que el sector de transporte no se puede sustituir por otro bien; por tanto, los efectos en el cambio de precios entran directamente en la función de bienestar. Algo similar ocurre con el bien del sector minero-energético (o consumo de gas y gasolina), el cual es sustituible únicamente con el sector comercio. Los demás sectores aumentan su participación, destacándose el aumento en el sector de servicios (Gráfico 6). Para este caso,

⁸ Las ecuaciones para la estimación de las elasticidades se encuentran en el Anexo 2.

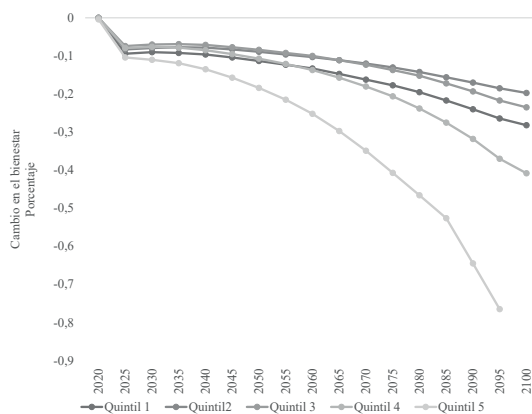
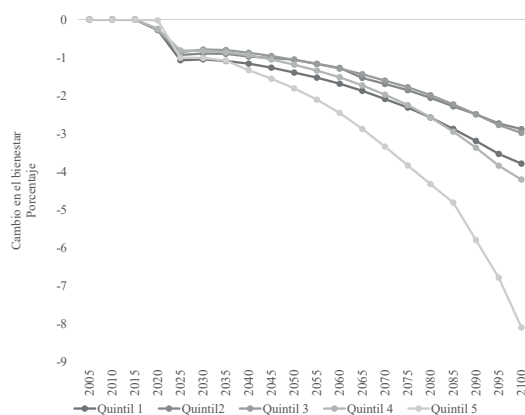
el sector de servicios es sustituto del sector agrícola, energético y ganadero. Además, al ser este sector el de mayor reducción de precios debido al impuesto, el consumo de bienes de dicho sector captura gran parte del consumo del hogar.

Gráfico 6. Cambio porcentual en la composición de la canasta por quintil de ingreso



Fuente: cálculos propios.

Se estima el cambio en el bienestar utilizando la ecuación 1, que hace explícito el cambio en la canasta y en los precios. Los resultados muestran que, a diferencia de la metodología anterior, ningún quintil tiene aumentos en el consumo. Esto se debe a que, si bien hay una caída en los precios de los sectores de energía y transporte, ésta es menor que en el escenario de referencia, y a que, dada su baja sustitución, el efecto es muy fuerte en los hogares. Asimismo, considerando que la participación de transporte y energía es diferente por quintil de ingreso, esto hace que los efectos varíen (Gráfico 7).

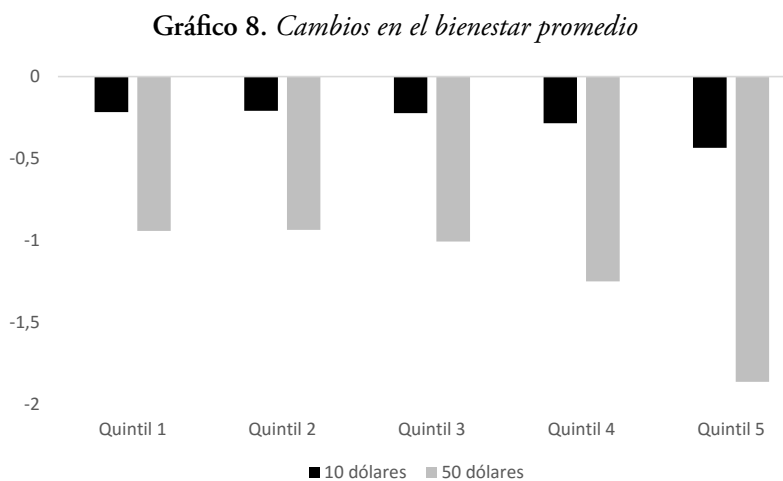
Grafico 7. Cambios en el bienestar en el tiempo respecto al escenario de referencia por quintil*(a) Escenario 10 dólares**(b) Escenario 50 dólares*

Fuente: cálculos propios.

Los resultados en el cambio de bienestar promedio de todo el periodo estudiado muestran una pérdida generalizada en el bienestar para todos los grupos de ingresos y, al igual que en las microsimulaciones aritméticas con canastas constantes, el grupo de ingresos más altos es el que se ve más afectado con el impuesto. Lo anterior se explica por la no sustitución de los sectores más impactados por el impuesto.

La poca sustitución entre los bienes refleja los impactos negativos de esta medida. Además, considerando que la curva de Engel no es lineal, los aumentos de los ingresos no necesariamente conducen a que el consumo de los bienes aumente en la misma proporción. Eso quiere decir que hogares del quintil 1 y 2, que tienen pocos ingresos y una sustitución en los sectores más afectados, tienen una capacidad de respuesta pequeña.

En el escenario de 10 dólares, el quintil 3 de ingreso muestra la menor pérdida en el bienestar debido a dos razones: en primer lugar, los ingresos de este grupo de población permiten comprar más de los otros bienes para así compensar la pérdida del sector energía; y, en segundo lugar, en los quintiles altos, el efecto ingreso es mayor al efecto sustitución, lo que implica que los hogares no pueden hacer una sustitución de los bienes energéticos, aunque el precio suba (Gráfico 8).

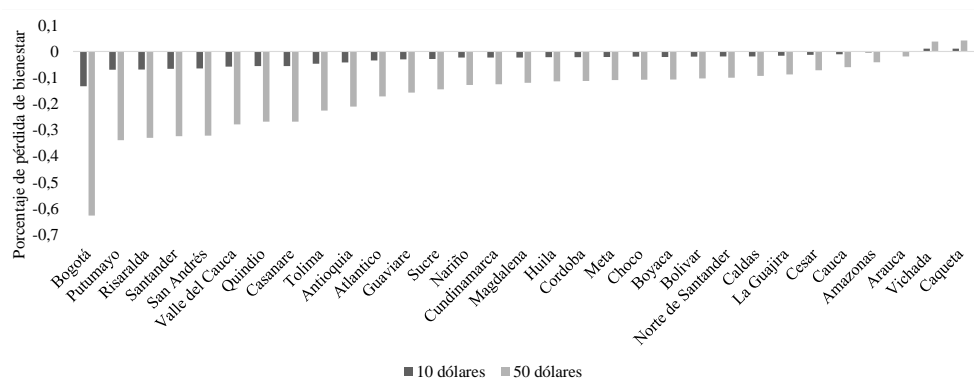


Fuente: cálculos propios.

Por último, un ejercicio adicional que se realizó consiste en identificar los cambios en el bienestar promedio por departamento. Los resultados reportados en el Gráfico 9 evidencian que Bogotá D.C y las regiones del país en donde el valor del consumo energético no subsidiado es más alto serán las áreas más afectadas por la incorporación del impuesto. Esto contrasta con las

zonas petroleras del país, Vichada y Caquetá, en donde se evidencian efectos positivos.

Gráfico 9. *Cambios en el bienestar promedio (por departamento)*



Fuente: cálculos propios.

Conclusiones y recomendaciones

La política fiscal colombiana tiene tres objetivos: proveer bienes públicos, redistribuir y estabilizar la economía. Sin embargo, recientemente se reconoce un nuevo objetivo relacionado con la fiscalidad ambiental, el cual se enfoca en garantizar un medioambiente sano y un uso sostenible de los recursos naturales, por ejemplo, en la estrategia de Crecimiento Verde, incluida en el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018.

Esta investigación trata de subsanar un rezago en la literatura sobre la evaluación del impacto de impuestos verdes en países en desarrollo, en particular, de un impuesto al carbono (Heindl & Löschel, 2015). El análisis que se realiza en este documento permite identificar los efectos distributivos de incluir un impuesto al carbono, ante el cual todos los hogares tendrían un cambio negativo en su consumo. El quintil más rico se vería altamente afectado y el más pobre tendría igualmente una afectación importante. Esto hace que la inclusión del impuesto, tal como se modela, tenga efectos negativos en la distribución, o que el impuesto sea regresivo.

Es importante mencionar que la teoría de impuestos verdes tiene la hipótesis de doble dividendo que ha sido altamente discutida. Dicha hipótesis plantea que los impuestos verdes pueden cumplir con el propósito de mejorar el ambiente y la economía, en la medida en que podrían reducir otros impuestos como, por ejemplo, a la oferta laboral, dependiendo del uso que se haga del recaudo. No obstante, estos beneficios se evidencian solo en condiciones especiales de la economía (Fullerton & Metcalf, 1997).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha mostrado que las cargas fiscales son más efectivas que los subsidios para lograr los objetivos ambientales (OECD, 2010). Es decir, que para lograr una efectiva reducción de GEI se debe acompañar el impuesto con un desmonte progresivo de subsidios a la gasolina o al uso de energía, de tal forma que el recaudo proveniente del impuesto pueda generar los incentivos correctos y las redistribuciones adecuadas, usando los recursos de los subsidios para incentivar a los hogares a lograr un uso eficiente de la energía, reducir su consumo y, por tanto, disminuir las afectaciones del impuesto.

Por último, se destaca que los análisis de bienestar en los hogares deben ser un elemento primordial al momento de la formulación de políticas públicas, tanto para la adaptación al cambio climático como para la mitigación. A partir de la metodología planteada se pueden emprender otras evaluaciones en las cuales se propongan integraciones secuenciales entre un MEG y un MSM; incluso, se puede considerar el efecto en los salarios del hogar o la incorporación de otros elementos en la función de bienestar, además del consumo, cómo puede ser el beneficio por la reducción en el impacto ambiental gracias a la implementación de determinada política.

La decisión desde la política pública puede presentarse en un *trade-off* entre bienestar presente y futuro. En el presente, no incluir el impuesto evita los efectos negativos en el bienestar presente, pero genera contaminantes que afectarán el bienestar futuro.

Anexo 1. Matriz de sustitución entre sectores^a

Agrícola	γ_{11} -0,175*** (0,00619)	γ_{12} 0,0275*** (0,00818)	γ_{13} -0,0359*** (0,00708)	γ_{14} -0,129*** (0,0119)	γ_{15} -0,0531*** 0,00563	γ_{16} -0,0150*** (0,00344)	γ_{17} -0,296*** (0,0116)	γ_{18} 2,625*** (0,0211)	γ_{19} -0,297*** (0,00825)	γ_{110} -0,257*** (0,0112)
Alimentos	γ_{21} -0,153*** (0,00965)	γ_{22} -0,153*** (0,00965)	γ_{23} -0,657*** (0,0164)	γ_{24} -0,220*** (0,00760)	γ_{25} -0,0171*** (0,00473)	γ_{26} -0,645*** (0,0154)	γ_{27} 0,761*** (0,00663)	γ_{28} -0,0115* (0,00619)	γ_{29} -0,0688*** (0,00552)	γ_{210} -0,00130 (0,00878)
Comercio	γ_{31} -0,0501*** (0,00415)	γ_{32} -0,0236*** (0,00264)	γ_{33} -0,0236*** (0,00264)	γ_{34} 0,0770*** (0,0118)	γ_{35} 0,0831*** (0,00857)	γ_{36} 0,839*** (0,0121)	γ_{37} 0,0673*** (0,00871)	γ_{38} -0,234*** (0,0125)	γ_{39} 0,0369*** (0,00550)	γ_{310} 0,0294*** (0,00424)
Energía	γ_{41} 0,0770*** (0,0118)	γ_{42} 0,0770*** (0,0118)	γ_{43} 1,522*** (0,0128)	γ_{44} 0,0770*** (0,0118)	γ_{45} 1,522*** (0,0128)	γ_{46} -0,224*** (0,0119)	γ_{47} -0,00934* (0,00502)	γ_{48} 0,00561 (0,00417)	γ_{49} -0,105*** (0,00988)	γ_{410} 2,312*** (0,0254)
Ganadería	γ_{51} -0,0501*** (0,00415)	γ_{52} -0,0236*** (0,00264)	γ_{53} -0,0236*** (0,00264)	γ_{54} 0,0770*** (0,0118)	γ_{55} -0,0677*** (0,00808)	γ_{56} -0,0402*** (0,00572)	γ_{57} -0,239*** (0,0168)	γ_{58} 0,703*** (0,00548)	γ_{59} -0,00189 (0,00242)	γ_{510} -0,0850*** (0,00795)
Manufactura	γ_{61} -0,0501*** (0,00415)	γ_{62} -0,0236*** (0,00264)	γ_{63} -0,0236*** (0,00264)	γ_{64} 0,0770*** (0,0118)	γ_{65} -0,0677*** (0,00808)	γ_{66} 0,388*** (0,00277)	γ_{67} -0,0381*** (0,00479)	γ_{68} 1,764*** (0,0222)	γ_{69} 3,47e-06*** (2,56e-07)	γ_{610} 1,47e-06*** (3,67e-07)
Mineroenergético	γ_{71} -0,0501*** (0,00415)	γ_{72} -0,0236*** (0,00264)	γ_{73} -0,0236*** (0,00264)	γ_{74} 0,0770*** (0,0118)	γ_{75} -0,0677*** (0,00808)	γ_{76} 0,388*** (0,00277)	γ_{77} 2,00e-06*** (1,77e-07)	γ_{78} 1,19e-05*** (2,03e-07)	γ_{79} 9,37e-07*** (2,04e-07)	γ_{710} -5,17e-06*** (3,23e-07)
Pesca	γ_{81} -0,0501*** (0,00415)	γ_{82} -0,0236*** (0,00264)	γ_{83} -0,0236*** (0,00264)	γ_{84} 0,0770*** (0,0118)	γ_{85} -0,0677*** (0,00808)	γ_{86} 0,388*** (0,00277)	γ_{87} 2,00e-06*** (1,77e-07)	γ_{88} 2,60e-06*** (1,63e-07)	γ_{89} 5,19e-07*** (1,01e-07)	γ_{810} 3,73e-06*** (3,50e-07)
Servicios	γ_{91} -0,0501*** (0,00415)	γ_{92} -0,0236*** (0,00264)	γ_{93} -0,0236*** (0,00264)	γ_{94} 0,0770*** (0,0118)	γ_{95} -0,0677*** (0,00808)	γ_{96} 0,388*** (0,00277)	γ_{97} 2,00e-06*** (1,77e-07)	γ_{98} 2,60e-06*** (1,63e-07)	γ_{99} 0 (0)	γ_{910} 0 (0)
Transporte	γ_{101} -0,0501*** (0,00415)	γ_{102} -0,0236*** (0,00264)	γ_{103} -0,0236*** (0,00264)	γ_{104} 0,0770*** (0,0118)	γ_{105} -0,0677*** (0,00808)	γ_{106} 0,388*** (0,00277)	γ_{107} 2,00e-06*** (1,77e-07)	γ_{108} 2,60e-06*** (1,63e-07)	γ_{109} 0 (0)	γ_{1010} 0 (0)

Nota: ^a La matriz es simétrica, pero por comodidad se presenta en la parte triangular superior.
Fuente: cálculos propios.

Anexo 2. Ecuaciones para el cálculo de elasticidades

A continuación, se presentan las ecuaciones de las elasticidades de gasto (e_i) y la elasticidad de sustitución precio compensada (e_{ij}^c) y no compensada (e_{ij}^{nc}):

$$e_i = \frac{\mu_i}{w_i}$$

$$e_i^c = e_{ij}^{nc} + e_i s_j$$

$$e_{ij}^{nc} = \frac{\mu_{ij}}{s_i} - \delta_{ij},$$

donde:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} I & si \quad i = j \\ 0 & si \quad i \neq j \end{cases}$$

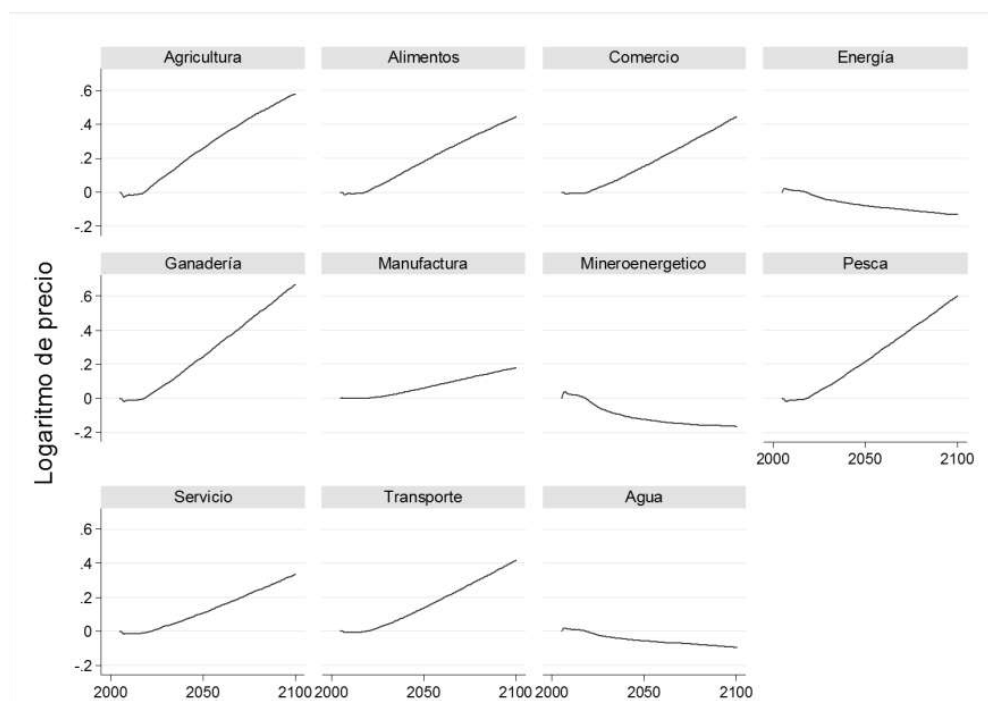
$$\mu_i = \beta_i + \frac{2\lambda}{b(P)} \left\{ \ln \left[\frac{w_h}{a(P)} \right] \right\}$$

$$\mu_{ji} = \gamma_{ij} - \mu_i \left(\alpha_j + \sum_k \gamma_{ij} \ln P_k \right) - \frac{\lambda_i b_j}{b(P)} \left\{ \ln \left[\frac{w_h}{a(P)} \right] \right\}^2$$

Fuente: adaptado de Cortez & Pérez (2012).

Anexo 3. Vector de precios de MEG4C, insumos para la MSM

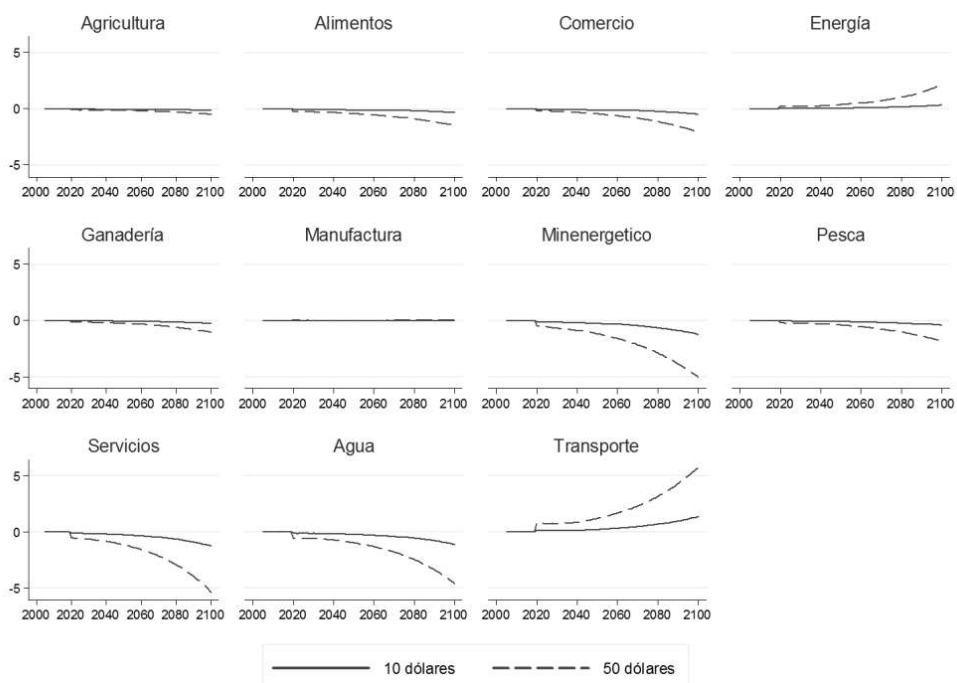
Gráfico 3A. Comportamiento de los precios en el tiempo en el escenario de referencia, 2000-2100



Fuente: elaboración propia a partir de Calderón et al. (2016).

Asimismo, se encuentra que el impuesto al carbono genera una distorsión de precios importante en algunos sectores de la economía (Gráfico 1). Por ejemplo, en el caso del transporte el precio en el escenario de referencia sube, pero con el impuesto sube 5 % más hacia finales de siglo. Estos cambios de precios pueden parecer pequeños; no obstante Lasso (2008) concluye que un aumento cercano al 3,5 % en los precios de los alimentos generan incremento en la pobreza de 0,62 % y en pobreza extrema de 0,14 %. Es decir, que la sensibilidad que puede tener la población de bajos ingresos ante esos cambios puede ser particularmente grande.

Gráfico 3B. *Cambio porcentual de los precios en escenarios por impuestos respecto al escenario de referencia*



Fuente: elaboración propia a partir de Calderón et al. (2016).

Referencias

- ÁLVAREZ, Andrés; CALDERÓN, Silvia; ROMERO, Germán & ORDOÑEZ, Daniel (2014). “Análisis macroeconómico de los impactos sectoriales de cambio climático en Colombia”, *Archivos de Economía*, No. 422. Departamento Nacional de Planeación, Colombia.
- BACH, Stefan; KOHLHAAS, Michael; MEYER, Bernd; PRAETORIUS, Barbara & WELSCH, Heinz (2002). “The effects of environmental fiscal reform in Germany: a simulation study”, *Energy Policy*, Vol. 30, No. 9, pp. 803-811.

- BALLAS, Dimitris; CLARKE, Graham; DORLING, Danny; EYRE, Heather; THOMAS, Bethan & ROSSITER, David (2005). "SimBritain: a spatial microsimulation approach to population dynamics", *Population, Space and Place*, Vol. 11, No. 1, pp. 13-34.
- BANKS, James; BLUNDELL, Richard & LEWBEL, Arthur (1997). "Quadratic Engel curves and consumer demands", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, No. 4, pp. 527-539.
- BORK, Christhart (2006). "Distributional effects of the ecological tax reform in Germany: An evaluation with a microsimulation model". En Serret, Ysé & Johnstone, Nick (Edits.), *The Distributional Effects of Environmental Policy* (pp. 139-168). Northampton: Edward Elgar Pub.
- BOURGUIGNON, François & SPADARO, Amedeo (2006). "Microsimulation as a tool for evaluating redistribution policies", *Journal of Economic Inequality*, Vol. 4, No. 1, pp. 77-106
- BRÄNNLUND, Runar & NORDSTRÖM, Jonas (2001). "Modelling Consumer Demand and Household Labour Supply: Welfare Effects of Increasing Carbon Taxes", *Umeå Economic Studies Working Paper*, No. 571. Universitet Umeå, Suiza.
- BUDELMEYER, Hielke; HÉRAULT, Nicolas; KALB, Guyonne & VAN ZIJLL DE JONG, Mark (2012). "Linking a microsimulation model to a dynamic cge model: Climate change mitigation policies and income distribution in Australia", *International Journal of Microsimulation*, Vol. 5, No. 2, pp. 40-58.
- CALDERÓN, Silvia; ÁLVAREZ, Andrés Camilo; LOBOGUERRERO, Ana María; ARANGO, Santiago; CALVIN, Katherine; KOBER, Tom; DAENZER, Kathryn & FISHER-VANDEN, Karen (2016). "Achieving CO2 reductions in Colombia: Effects of carbon taxes and abatement targets", *Energy Economics*, Vol. 56, pp. 575-586.
- CALLAN, Tim; LYONS, Sean; SCOTT, Susan; TOL, Richard & VERDE, Stefano (2009). "The distributional implications of a carbon tax in Ireland", *Energy Policy*, No. 37, No. 2, pp. 407-412.

- COLOMBO, Giulia (2010). “Linking CGE and Microsimulation Models: A Comparison of Different Approaches”, *International Journal of Microsimulation*, Vol. 3, No. 1, pp. 72-91.
- CORTÉS, Darwin & PÉREZ, Jorge (2010). “El consumo de los hogares colombianos, 2006-2007 estimación de sistemas de demanda”, *Desarrollo y Sociedad*, No. 66, pp. 7-44.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE) (2014). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida - ENCV 2011*. Recuperado de: https://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/catalog/196/export (octubre de 2015).
- DEATON, Angus & MUELLBAUER, John (1980). “An almost Ideal Demand System”, *The American Economic Review*, Vol. 70, No. 3, pp. 312-326.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP) & BANCO INTER-AMERICANO DE DESARROLLO (BID) (2014). *Impactos económicos del cambio climático –Síntesis–* Bogotá: Autores. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Impactos%20economicos%20Cambio%20clim%20C3%A1tico.pdf> (octubre de 2015).
- EKINS, Paul; POLLITT, Hector; BARTON, Jennifer & BLOBE, Daniel (2011). “The implications for households of environmental tax reform (ETR) in Europe”, *Ecological Economics*, Vol. 70, No. 12, pp. 2472-2485.
- FULLERTON, Don & METCALF, Gilbert (1997). “Environmental Taxes and the Double-Dividend Hypothesis: Did You Really Expect Something for Nothing?”, *NBER Working Paper*, No. 6199. National Bureau of Economic Research.
- HEINDL, Peter & LÖSCHEL, Andreas (2015). “Social implications of green growth policies from the perspective of energy sector reform and its impact on households”, *ZEW Discussion Paper*, No. 15-012. Centre for European Economic Research, Alemania.
- FIELD, Christopher; BARROS, Vicente; JON DOKKEN, David; MACH, Katherine & MASTRANDREA, Michael (Eds.) (2014). *Climate Change 2014. Impacts,*

- Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) (2015). *Nuevos Escenarios De Cambio Climático Para Colombia 2011-2100*. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf (octubre de 2015).
- JANSKÝ, Petr (2014). “Consumer Demand System Estimation and Value Added Tax Reforms in the Czech Republic”, *Czech Journal of Economics and Finance*, Vol. 64, No. 3, pp. 246-273.
- LABANDEIRA, Xavier; LABEAGA, José & RODRÍGUEZ, Miguel (2004). “Green tax reforms in Spain”, *European Environment*, Vol. 14, No. 5, pp. 290-299.
- LABANDEIRA, Xavier; LABEAGA, José & RODRÍGUEZ, Miguel (2009). “An integrated economic and distributional analysis of energy policies”, *Energy Policy*, Vol. 37, No. 12, pp. 5776-5786.
- LASSO, Francisco (2008). “Impactos de los cambios de precios relativos en pobreza y desigualdad 1998-2007”, *Borradores de Economía*, No. 518. Banco de la República, Colombia.
- LIANG, Chyi-lyi; LOVEJOY, Stephen & LEE, John (1998). *Green taxes impacts on national income, social welfare and environmental quality*. Recuperado de: <https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/20870/1/splian01.pdf> (octubre de 2015).
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OECD) (2010). *Interim Report of the Green Growth Strategy Interim Report: Implementing Our Commitment to a Sustainable Future. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level, 27-28 May 2010*. Recuperado de: <http://www.oecd.org/dataoecd/42/46/45312720.pdf> (octubre de 2015).
- POI, Brian (2010). “Demand-system estimation Update”, *Stata Journal*, Vol. 8, No. 4, pp. 554-556.

- STEINER, Viktor; WROHLICH, Katharina; HAAN, Peter & GEYER, Johannes (2012). *Documentation of the tax-benefit microsimulation model STSM: Version 2012*. Berlín: DIW Berlin.
- TIEZZI, Silvia (2005). “The welfare effects and the distributive impact of carbon taxation on Italian households”, *Energy Policy*, Vol. 33, No. 12, pp. 1597-1612.
- VANDYCK, Toon (2013). “Efficiency and Equity Aspects of Energy Taxation Efficiency and Equity Aspects of Energy Taxation”, *Euromod Working Paper Series*, EM 12/13. Institute for Social and Economic Research, University of Essex, Reino Unido.
- VANDYCK, Toon & VAN REGEMORTER, Denise (2014). “Distributional and regional economic impact of energy taxes in Belgium”, *Energy Policy*, Vol. 72, pp. 190-203.