



ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

Reformas fiscales ambientales e innovación y difusión tecnológicas en el contexto de las contribuciones determinadas (CDN): una visión desde América Latina

José Eduardo Alatorre
Allan Beltrán
Jimmy Ferrer
Luis Miguel Galindo



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/suscripciones

Reformas fiscales ambientales e innovación y difusión tecnológicas en el contexto de las contribuciones determinadas (CDN): una visión desde América Latina

José Eduardo Alatorre
Allan Beltrán
Jimmy Ferrer
Luis Miguel Galindo



Este documento fue preparado por Allan Beltrán, Luis Miguel Galindo, José Eduardo Alatorre y Jimmy Ferrer, de la Unidad de Cambio Climático, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del proyecto “Apoyo a la Implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe” en su componente relativo al diseño de políticas públicas de mitigación y adaptación frente al cambio climático, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

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.2018/78

Distribución: L

Copyright © Naciones Unidas, 2018. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.18-00469

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@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	5	
Introducción	7	
I. Revisión de la literatura	11	
1. Impuesto a combustibles fósiles y uso de energías renovables	12	
2. Impuesto a combustibles fósiles e intensidad energética	13	
3. Uso de energías renovables y crecimiento económico	15	
4. Crecimiento económico y desigualdad	17	
5. Desigualdad y emisiones de CO ₂	18	
II. Metodología e información estadística	21	
1. Ecuación de consumo de energías renovables (RE)	21	
2. Ecuación de intensidad energética (IE)	22	
3. Ecuación de crecimiento económico (PIB)	22	
4. Ecuación de la distribución del ingreso (GINI)	22	
5. Ecuación de emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	23	
6. Base de datos	23	
III. Resultados	27	
IV. Conclusiones	33	
Bibliografía	35	
Anexo	39	
Cuadros		
Cuadro 1	Elasticidad precio de la demanda de energías renovables	13
Cuadro 2	Elasticidad precios relativos de la energía en la intensidad energética	14
Cuadro 3	Elasticidad del uso de energías renovables en el crecimiento económico	16
Cuadro 4	Elasticidad crecimiento económico e inequidad en la distribución del ingreso	18
Cuadro 5	Elasticidad de la inequidad en las emisiones de CO ₂	19

Cuadro 6	Definición de variables y estadísticas descriptivas 1993-2012	25
Cuadro 7	Efectos de impuesto a los combustibles fósiles en América Latina: modelos Panel Cointegrado (FMOLS).....	28
Cuadro 8	Efectos sociales, económicos y ambientales de largo plazo de un impuesto a los combustibles fósiles en América Latina	31
Cuadro A.1	Pruebas de raíz unitaria.....	40
Cuadro A.2	Pruebas de cointegración de panel	43
Diagrama		
Diagrama 1	Efectos de un impuesto al carbono en el nivel de emisiones	9

Resumen

Este documento tiene como objetivo analizar los efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre un conjunto de variables relevantes para el cumplimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) en América Latina tales como el consumo de combustibles, el consumo de energías renovables, el crecimiento económico, la eficiencia energética y la distribución del ingreso. Para ello, se utiliza un sistema de ecuaciones recursivas a partir de estimaciones econométricas con datos panel con cointegración para identificar los efectos de un impuesto a los combustibles fósiles en América Latina en aspectos como la transferencia de tecnología, el crecimiento económico y la desigualdad en la distribución del ingreso. Debido a la escasa evidencia empírica sobre la imposición de un impuesto al carbono en la región, en el análisis se utiliza el impacto potencial de un impuesto a las gasolinas y *diesel* como un caso representativo de los efectos generados a partir de un impuesto al CO₂ sobre los combustibles fósiles.

La evidencia recolectada señala que existe un conjunto de cinco interacciones económicas, sociales y ambientales asociadas con la implementación de un impuesto al carbono: a). Efecto de un impuesto a las gasolinas sobre el consumo de energías renovables; b). Efecto de un impuesto a las gasolinas sobre la eficiencia energética; c). Relación entre un impuesto a las gasolinas, consumo de energías renovables y crecimiento económico; d). Relación entre crecimiento económico y la distribución del ingreso; y f). Relación entre distribución del ingreso, crecimiento económico, consumo de energías renovables, eficiencia energética y emisiones de CO₂.

El efecto ambiental, social, económico y de transferencia de tecnología que resulta de la imposición de un impuesto al carbono depende de las elasticidades que determinan estas interacciones. Los resultados de un sistema de ecuaciones recursivas de largo plazo para América Latina sugieren una elasticidad precio de largo plazo del consumo de energías renovables positiva de 0.072% y una elasticidad negativa de la intensidad energética de -0.35%. A su vez, un incremento del consumo de energías renovables de 1% generará un crecimiento PIB per cápita de 0.087%, mientras que el incremento de precios de los combustibles muestra un efecto no lineal sobre el PIB de los países de la región. Esto es, el efecto de un incremento de precios de combustibles en el PIB (positivo o negativo) depende del nivel inicial de precios relativos. El crecimiento del PIB tiene también efectos sociales. Un incremento de 1% en el PIB de la región resultará en una disminución de -0.11% en el valor del coeficiente de Gini. Este resultado refleja los potenciales beneficios sociales de las políticas fiscales ambientales en la región. Finalmente, un impuesto sobre los combustibles fósiles también resultaría en beneficios ambientales. Un incremento de 1% en el consumo de energías renovables resulta en una reducción de -0.47% en las emisiones de CO₂, mientras que una relación directa entre

intensidad energética y emisiones de CO₂ implica que una disminución de -1% en la intensidad energética resultará en una disminución de -0.58% en las emisiones de CO₂. Estos resultados deben tomarse con precaución ya que los coeficientes representan estimaciones con base en información de 17 países de América Latina y, desde luego, las elasticidades para cada uno de ellos pueden variar dependiendo del contexto específico de cada economía.

Basado en las elasticidades de largo plazo, se estima una aproximación del efecto neto de largo plazo para América Latina que resultaría de un impuesto sobre los combustibles fósiles considerando las interacciones económicas, sociales y de transferencia de tecnología para escenarios de impuestos de 1%, 5%, 10% y 20%. Debido al efecto no lineal del incremento de precios en los combustibles sobre el PIB, los resultados se analizan considerando dos escenarios. a) Un contexto de precios relativos bajos de combustibles similar al promedio simple observado en América Latina para el año 2012, es decir un valor del índice de precios relativos de 105 unidades (2010 = 100). b) Un contexto de precios relativos altos de combustibles similar al promedio simple observado en la región para el año 2002, es decir un valor del índice de precios relativos igual a 197 unidades.

Los resultados sugieren que en un contexto de precios bajos de combustibles la implementación de un impuesto ambiental o verde en América Latina resultaría en un incremento en el consumo de energías renovables, una disminución de la intensidad energética, un aumento del PIB per cápita y una disminución de la desigualdad. La interacción de estos efectos resultaría en una disminución de emisiones de CO₂ en el rango de -0.23% a -4.61% dependiendo del escenario de impuesto propuesto (1-20%). En un contexto de precios altos de combustibles, el efecto del impuesto en la reducción del PIB per cápita tendría efectos sociales negativos generando una mayor desigualdad del ingreso (*gini_{it}*). La interacción de estos efectos resulta en una disminución de las emisiones de CO₂ en el rango de -0.24% a -4.73%, esta disminución es mayor que las reportadas con el escenario de precios bajos relativos para cada uno de los niveles de impuesto (1-20%). Es decir, en un contexto de precios altos de combustibles un impuesto a los combustibles en América Latina tiene el potencial de generar mayores beneficios ambientales pero con importantes costos económicos y sociales. Esto sugiere que el contexto actual de precios bajos de la energía resulta favorable para considerar la implementación de un impuesto ambiental o verde sobre los combustibles fósiles (o impuesto al carbono) en los países de América Latina. Los resultados muestran que los instrumentos de política fiscal ambiental en la región resultan congruentes para perseguir el cumplimiento de las NDC y además son compatibles con el cumplimiento de otros objetivos de política económica y social (PIB y desigualdad) pero únicamente en un contexto de precios bajos de combustibles. La implementación de un impuesto a los combustibles fósiles en un contexto de precios altos puede resultar en mayores beneficios ambientales pero con costos económicos y sociales importantes que deben ser compensados a través de procesos de reciclaje fiscal.

Introducción

Los ‘impuestos verdes’, también conocidos como ‘impuestos ambientales’, gravan de forma selectiva el consumo de aquellos bienes que generan diversos tipos de contaminación ambiental. Así, el objetivo de estos instrumentos económicos es reducir los impactos negativos de las actividades económicas sobre el medio ambiente a través de ofrecer señales de precios a los consumidores al encarecer el consumo de bienes y servicios que dañan el medio ambiente. En este sentido, como parte de los Acuerdos de París, el 36% de las economías de América Latina mencionan el uso de instrumentos de mercado para lograr el cumplimiento de las NDC, mientras que 35% de las economías mencionan un interés en explorar el potencial del uso de estos mecanismos. Por lo tanto, resulta indispensable analizar el potencial de las políticas fiscales ambientales para facilitar el cumplimiento de los compromisos acordados en París, en el contexto del cumplimiento de otros objetivos económicos y sociales de política pública.

Uno de los ‘impuestos verdes o ambientales’ más populares en las últimas décadas es el impuesto al carbono, el cual se ha utilizado como estrategia de mitigación del cambio climático. En su forma más simple, un impuesto al carbono consiste en la aplicación de una tasa impositiva sobre el precio de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), el cual depende del contenido de CO₂, que normalmente se define por tonelada de CO₂ (tCO₂) (Revelle, 2009; Andersen y Ekins, 2009; Galindo et al., 2017;). Este impuesto se traslada a los consumidores, parcial o totalmente, en el precio de la electricidad, gasolina, y otro tipo de productos intensivos en el uso de energía. Así, al incrementar el precio de la energía basada en carbono, el impuesto genera incentivos para reducir este tipo de energía, estimula la demanda de productos con una mayor eficiencia energética, y promueve una transición hacia el uso de combustibles más limpios y energías renovables (Tietenberg, 1990; Porter, 1991).

El uso de estos impuestos al carbono pueden tener, sin embargo, efectos macroeconómicos y redistributivos adversos (Ekins y Dresner, 2004). Por ejemplo, Pearce (1991), Repetto et al. (1992) y Goulder (1995) señalan que el incremento en el precio de los combustibles fósiles reduce el salario real y las ganancias sobre las inversiones, lo cual impacta el nivel de empleo y los flujos de inversión. A su vez, esto resulta en una disminución del nivel de producto agregado de la economía. Hamilton y Cameron (1994), Wier et al. (2005) y Kerkhof et al. (2008) hacen énfasis en el impacto de este tipo de gravámenes en la distribución del ingreso, puesto que, los individuos que pertenecen a los deciles de ingreso más bajos suelen destinar una parte desproporcionada de sus ingresos a este tipo de impuestos en relación a personas dentro de los deciles de ingreso más altos. Por otro lado, Jorgenson y Wilcoxon (1993), Garbaccio et al. (1999), Metclaf (1999), Lim y Kim (2012) y McKibbin et al. (2015), sugieren

que un impuesto al carbono aplicado con un enfoque integral a través de una reforma fiscal ambiental puede disminuir los impactos negativos del impuesto mediante la reutilización de los ingresos fiscales generados por este concepto, ya sea para disminuir la tasa de otro tipo de impuestos que generan distorsiones en la economía o, para compensar a la población con menores ingresos vía transferencias. De este modo, se busca alcanzar la hipótesis del doble dividendo donde a los beneficios ambientales (reducción de emisiones de CO₂) se sumarían otros beneficios económicos o sociales.

Así, existe evidencia que señala que la implementación de un impuesto al carbono genera un proceso complejo de retroalimentación a través de diversas interacciones económicas y sociales que terminan actuando en contra del objetivo primario de esta política, es decir, disminuye su efectividad sobre la reducción de emisiones de CO₂. En primer lugar, autores como Apergis y Payne (2012), Mahmood y Marpaung (2014), y Bhattacharya et al. (2016) sugieren que los procesos de transferencia de tecnología, sustitución de combustibles fósiles por combustibles con un bajo contenido de carbono, y el aumento de la eficiencia energética que se generan a partir de la implementación de un impuesto al carbono, pueden generar impactos positivos en el crecimiento económico, especialmente en economías con mayor intensidad energética¹ (menor eficiencia energética) donde existen mayores márgenes para realizar mejoras en los procesos productivos. Asimismo, la hipótesis de doble dividendo débil² sugiere que a partir de la reutilización de los ingresos fiscales generados por el impuesto al carbono se puede obtener un impacto positivo en el crecimiento económico o en la disminución de la desigualdad (Jorgenson y Wilcoxon, 1993; Garbaccio et al., 1999; Metclaf, 1999; Lim y Kim, 2012; McKibbin et al., 2015).

Sin embargo, existe evidencia que debe considerarse para identificar los efectos finales de estos impuestos ambientales. Por ejemplo, autores como Halicioglu (2009) y Wolde-Rufael y Idowu (2017) muestran que existe evidencia de una relación directa entre crecimiento económico (PIB) y emisiones de CO₂. Por su parte, otros autores como Ravallion *et al.* (2000), Chancel y Piketty (2015), y Wolde-Rufael y Idowu (2017) exploran la relación entre desigualdad del ingreso y emisiones de CO₂ y señalan que debido a los patrones de consumo en los deciles de ingresos más bajos, disminuciones en la desigualdad del ingreso resultan en un incremento de emisiones de CO₂. Además, Gyimah-Brempong (2002), Alam y Paramati (2016), y Raza y Shah (2017) documentan la existencia de una relación directa entre crecimiento económico y disminución de la desigualdad. Todo lo anterior sugiere que los efectos positivos de la implementación de un impuesto al carbono sobre el PIB y la desigualdad del ingreso generan interacciones que disminuyen la efectividad de este instrumento, aumentan los costos de la política ambiental y dificultan el cumplimiento de los objetivos de mitigación. Basado en los mecanismos descritos, el diagrama 1 muestra el conjunto de interacciones que genera la implementación de un impuesto al carbono, resaltando que la forma en que los procesos de transferencia de tecnología y los efectos en las variables económicas y sociales determinan el efecto neto del impuesto sobre el nivel de emisiones de CO₂.

En este contexto, este documento tiene como objetivo analizar la congruencia de atender el desafío del cambio climático, con base en impuestos ambientales, en referencia a otros desafíos económicos y sociales en el cumplimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) de América Latina. Para ello, se utiliza un sistema de ecuaciones recursivas a partir de estimaciones econométricas de datos panel con cointegración para identificar los efectos que un impuesto a los combustibles fósiles podría generar en América Latina considerando factores como: transferencia de tecnología, crecimiento económico, y desigualdad en la distribución del ingreso. Actualmente Chile, Colombia y México son los países que cuentan con un impuesto vigente al carbono.. Por lo anterior,

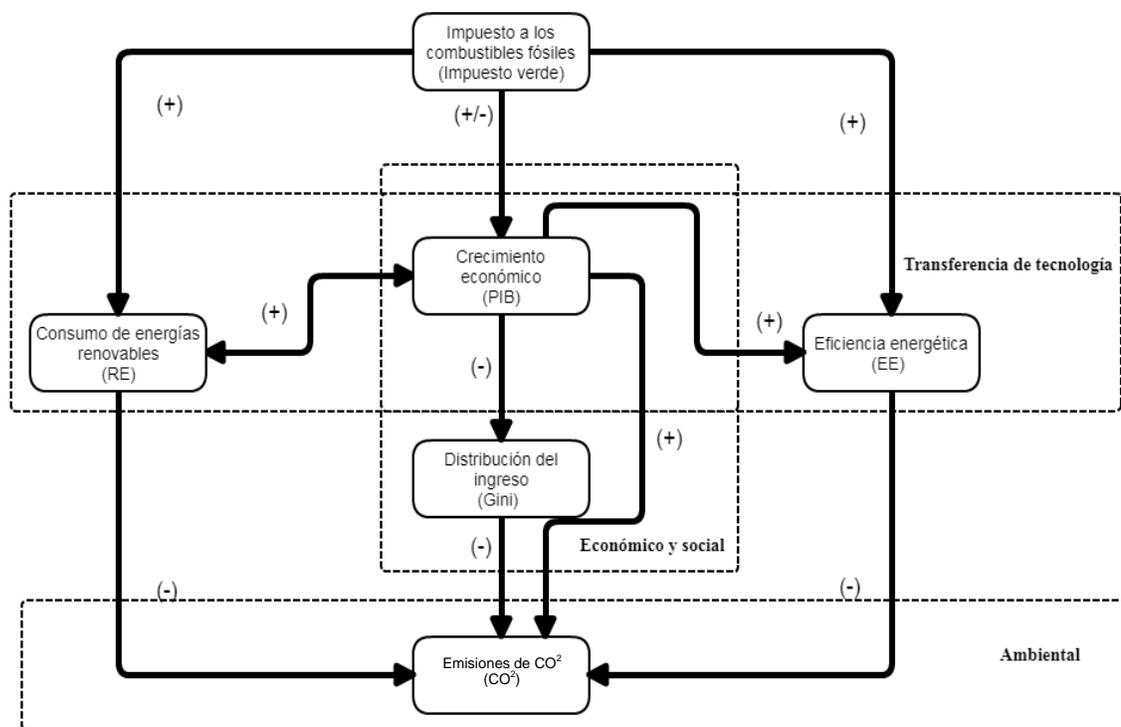
¹ La intensidad energética se define como la cantidad de energía utilizada para generar una unidad de producto, por lo tanto, entre mayor es la intensidad energética, el nivel de eficiencia energética es menor.

² La hipótesis de doble dividendo fuerte implica que existen beneficios adicionales a una política fiscal sin necesidad de reciclaje fiscal y existe un doble dividendo débil en el caso en que se presenten los beneficios económicos y sociales adicionales a través del uso de una estrategia de reciclaje fiscal.

este análisis utiliza el impacto potencial de un impuesto a las gasolinas y diesel como un caso representativo de los efectos generados a partir de un impuesto sobre combustibles fósiles.

Los resultados sugieren que los instrumentos de política fiscal ambiental en América Latina resultan congruentes para perseguir el cumplimiento de las NDC y además son compatibles con el cumplimiento de otros objetivos de política económica y social (PIB y desigualdad) pero únicamente en un contexto de precios bajos de combustibles. La implementación de un impuesto a los combustibles fósiles en un contexto de precios altos resulta en mayores beneficios ambientales pero con costos económicos y sociales significativos. Es decir, el impacto económico y social de un impuesto ambiental dependerá del contexto de precios bajo el cual se implemente el impuesto.

Diagrama 1
Efectos de un impuesto al carbono en el nivel de emisiones



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Eficiencia energética se define como la cantidad de energía consumida por unidad de producto, es decir, cuando disminuye la cantidad de energía necesaria por unidad de producto, la eficiencia energética aumenta.

Valores del índice de Gini cercanos a cero indican mayor igualdad en la distribución del ingreso, así, una disminución de dicho índice implica menor desigualdad.

El documento se divide en cuatro secciones, además de la introducción. La primera presenta una breve revisión de la literatura sobre los estudios previos que sustentan las relaciones descritas en el diagrama 1. La segunda describe la metodología e información estadística utilizadas en las estimaciones econométricas y la tercera muestra los resultados obtenidos, así como su discusión. Finalmente, la cuarta sección presenta una serie de conclusiones y propuestas de política pública.

I. Revisión de la literatura

En la diagrama 1 se identifica un conjunto de cinco interacciones económicas, sociales y ambientales asociadas con la implementación de un impuesto al carbono. Este conjunto comprende lo siguiente:

- a) Efecto de un impuesto a gasolinas y diesel sobre el consumo de energías renovables,
- b) Efecto de un impuesto a gasolinas y diesel sobre la eficiencia energética,
- c) Relación entre un impuesto a gasolinas y diesel, consumo de energías renovables y crecimiento económico
- d) Relación entre crecimiento económico y la distribución del ingreso,
- e) Relación entre distribución del ingreso, crecimiento económico, consumo de energías renovables, eficiencia energética y emisiones de CO₂.

En esta sección se describen los resultados obtenidos de estudios previos para cada una de las relaciones del conjunto anterior. Primero, se discute la literatura que aborda el tema de los efectos potenciales que tiene un impuesto a los combustibles fósiles sobre el consumo de energías renovables, en la medida en que, el encarecimiento de energías de fuentes no renovables podría incentivar a los agentes económicos a transitar hacia otros tipos de energía menos costosas (Timilsina et al., 2011).

Segundo, se espera que un aumento en los precios de combustibles fósiles, vía impuestos, tenga implicaciones sobre la búsqueda de tecnologías más eficientes y limpias (Fang et al., 2013), por lo tanto, se exploran estudios que identifican el efecto de un impuesto a los combustibles fósiles sobre la eficiencia energética. Tercero, una vez que se analizan dichos procesos, se describen aquellos estudios que tratan la relación entre el uso de energías renovables y el crecimiento económico. La inclusión del consumo de ambos tipos de energías, renovables y no renovables, en la función de crecimiento económico permite identificar las elasticidades correspondientes y, a su vez, identificar el efecto de un impuesto a combustibles fósiles sobre el producto agregado (Apergis et al., 2012; Tugcu et al., 2012; Inglesi, 2016). Cuarto, se presentan los resultados de estudios empíricos que analizan el efecto del crecimiento económico sobre la distribución del ingreso, dado que, se han observado efectos heterogéneos en diferentes contextos (Deininger y Squire, 1998; Barro, 2000). Por último, se analizan investigaciones que capturan el efecto de la distribución del ingreso en el nivel de emisiones de CO₂, ya que, en los últimos años se ha argumentado que políticas que promueven menores niveles de inequidad generan mayores emisiones (Ravallion et al., 2000; Heerink et al., 2001; Borghesi, 2006). Es importante señalar que en las siguientes secciones se discuten únicamente los parámetros de

interés para cada una de las interacciones planteadas en la figura 1 y lo señalado anteriormente, las variables independientes restantes se describen en las secciones de metodología y resultados.

1. Impuesto a combustibles fósiles y uso de energías renovables

Dada la preocupación global por reducir los niveles de emisiones de CO₂, los gobiernos nacionales o regionales han instrumentado una serie de políticas públicas para incentivar el uso de energías renovables. Dentro de este conjunto de políticas públicas se encuentran los impuestos al carbono, tarifas de alimentación, pago de primas, sistema de cuotas, subastas, y sistemas de límites e intercambio de bonos de carbono (Wiser et al., 2007; Fouquet y Johansson, 2008; Barroso et al., 2010; Olimpio et al., 2011; Kitzing et al., 2012; Tukenmez y Demireli, 2012; Fouquet, 2013; Hinrichs-Rahlews, 2013. Respecto a los impuestos al carbono, Timilsina et al. (2011) sugiere que un impuesto a los combustibles fósiles incentiva la penetración de biocombustibles en el mercado energético y, además, la reutilización de dichos ingresos tributarios en subsidios a esta fuente alternativa de energía potencia dicho efecto. Los resultados indican que, por ejemplo, sin reutilización de ingresos tributarios e impuestos al carbono de 10 dólares/tCO₂ y 50 dólares/tCO₂, la demanda de biocombustibles para el transporte terrestre aumentaría en 0.50% y 2.70%, respectivamente en 2020, mientras que, con reutilización de ingresos tributarios en forma de subsidios a biocombustibles del orden del 25%, dichas cifras aumentarían considerablemente, a 74.10% y 78.10%, respectivamente.

Timilsina *et al.* (2011) sugieren, además, que la expectativa de implementar un impuesto al carbono en el futuro, incrementará los niveles actuales de emisiones de CO₂, dada la perspectiva de un encarecimiento futuro de combustibles fósiles. A este fenómeno se le conoce como ‘paradoja verde’ (Sinn, 2008; Van der Ploeg y Withagen, 2012; Sinn, 2012; Grafton, 2012; Van der Ploeg y Withagen, 2015). De acuerdo con Nachtigall y Rubbelke (2016) este fenómeno no siempre se cumple. Esto es, se observa que cuando la curva de costos marginales de extracción de recursos no renovables para la generación de energía tiene una pendiente creciente y donde además se planea introducir un impuesto al carbono en el futuro, existe una fuente de energía renovable que es un sustituto perfecto, y por tanto las empresas generadoras de energías renovables reaccionarán a este gravamen incrementando su nivel de producción no sólo en el futuro sino también en el presente, puesto que, los procesos de inserción a este mercado y de aprendizaje requieren cierto nivel de experiencia (beneficios de ‘*learning-by-doing*’).

Autores como Van der Meijden y Withagen (2016) señalan que cuando existe una estructura monopolista del lado de la oferta de combustibles fósiles y las fuentes de energía renovables son sustitutos perfectos, el monopolio fijará los precios de no renovables por debajo de los renovables, ocasionando un mayor uso de combustibles fósiles. Sin embargo, la implementación de un subsidio a las fuentes renovables y un impuesto a los combustibles fósiles disminuirá el nivel de extracción de recursos no renovables para la generación de energía. Otro conjunto de estudios se ha enfocado en estimar la elasticidad precio de la demanda del uso de energía, por ejemplo, Espey y Espey (2004) mediante un estudio de meta-análisis encuentra que un aumento de 1% en los precios relativos de la energía eléctrica de uso doméstico reduce su demanda en 0.35% en el corto plazo, mientras que, en el largo plazo se observa un efecto superior, 0.85%. Esta divergencia temporal se confirma en Gillingham et al. (2009) al estimar la elasticidad precio de la demanda del uso de energía, gas y combustibles para calefacción. Ambos estudios sugieren que el aumento en dicha elasticidad en el largo plazo obedece a que el proceso de ajuste de los consumidores (hogares e industrias) a precios relativos de la energía (regularmente de fuentes fósiles) más altos no ocurre de forma inmediata, especialmente, si no existen fuentes alternativas de energía.

Utilizando metodologías de datos panel como mínimos cuadrados ordinarios totalmente modificados (FOLS) y dinámicos (DOLS), y vectores auto-regresivos estructurales (SVAR), diversos autores han identificado la elasticidad precio de la demanda de energías renovables. En el cuadro 1 se presentan los resultados más relevantes de este conjunto de estudios.

Bajo los argumentos anteriores, se espera que un aumento en el precio relativo de los combustibles fósiles, vía la implementación de un impuesto, disminuya la demanda de dichos bienes e incentive el uso de energías renovables, o limpias. Asimismo, este efecto se potencia cuando los ingresos obtenidos por dicho gravamen son reutilizados como subsidios a fuentes de energía renovables. Sin embargo, el efecto puede ser nulo si las fuentes de energía renovables no representan un sustituto perfecto o cercano a los combustibles fósiles. Sobre la base del cuadro 1, se espera que la elasticidad precio de la demanda de energías renovables se ubique entre -5.60 y 2.71. Para países de América Central, Apergis et al. (2014) sugiere que dicha elasticidad oscila entre 0.15 y 0.28.

Cuadro 1
Elasticidad precio de la demanda de energías renovables

Fuente	Método	Lugar	Dependiente	Explicativa	Elasticidad
Sadorsky (2009a)	FMOLS	10 países	Consumo de energía renovable per cápita (logaritmo)	Precio de electricidad (logaritmo)	-0,16 (OLS)
	OLS				-0,70 (FMOLS)
Sadorsky (2009b)	FMOLS	G7	Consumo de energía renovable (logaritmo)	Precio del crudo (logaritmo)	-0,86* (DOLS), -0,42* (Canadá), 0,08* (Francia), 0,82* (Alemania), 0,80* (Italia), -0,42* (Japón), -5,60* (Reino Unido), -1,29* (EU)
	OLS				-0,65+* (FMOLS), -0,37+* (Canadá), 0,11* (Francia), 1,06* (Alemania), 0,92* (Italia), 0,33+* (Japón), -5,59* (Reino Unido), -1,00* (EU)
Salim y Rafiq (2012)	FMOLS DOLS	6 países	Consumo de energía renovable (logaritmo)	Precio del crudo (logaritmo)	0,77+* (DOLS) 0,10+* (FMOLS)
Apergis et al. (2014)	FMOLS	7 países Centro América	Consumo de energía renovable (logaritmo)	Precio del carbón y del crudo (logaritmo)	0,15* (carbón) 0,28* (crudo)
Bloch, et al. (2015)	ARDL	China	Consumo de energía renovable (logaritmo)	Precio del carbón y del crudo (logaritmo)	2,71* (carbón) 1,25* (crudo)

Fuente: Elaboración propia

Nota: + Elasticidad no significativa con un nivel de confianza del 90%. *Elasticidad cruzada de la demanda.

Existen otros estudios que también analizan la demanda de energías renovables (Usama et al. (2013); Tiwari (2011)). Sin embargo, estos estudios no incluyen la elasticidad (cruzada) de la demanda.

2. Impuesto a combustibles fósiles e intensidad energética

La aplicación de un impuesto al carbono en tiempo y forma en un sistema dinámico de ahorro de energía y reducción de emisiones permite controlar las emisiones de CO₂ de manera más efectiva y, por ende, disminuir la intensidad energética (Fang et al., 2013). Algunos autores sugieren que una de las herramientas más útiles para reducir el consumo de energía sin afectar el crecimiento económico, e

incluso potenciarlo, es propiciar una mayor eficiencia energética³ (Birol y Keppler, 2000). Evidentemente, cambios tecnológicos y estructurales en las economías originan el menor uso de energía por unidad de producto. Sin embargo, diversos estudios demuestran que los precios relativos de la energía juegan un papel relevante en la determinación de la eficiencia energética (Birol y Keppler, 2000; Cornillie y Fankhauser, 2004; Fisher-Vanden et al., 2004; Hang y Tu, 2007).

Este mecanismo sugiere que cambios en los precios relativos de la energía generan un proceso de sustitución entre fuentes de energía, logrando que aquellas fuentes más eficientes sean preferidas. Sin embargo, estos ajustes en los patrones de consumo de los agentes económicos no son inmediatos, por lo que se espera que las elasticidades precio de la intensidad energética de corto y largo plazo no sean similares (Cho et al., 2004; Chen et al., 2016). De acuerdo con Fisher-Vanden et al. (2004) y Hang y Tu (2007), quienes analizan este fenómeno durante el proceso de desregulación de precios en China, un aumento en los precios relativos de la energía conlleva a una disminución de la intensidad energética. Esto obedece a cambios en la estructura de producción para hacer frente a costos superiores. Respecto a las elasticidades precio cruzadas, estos autores encuentran cierto grado de sustitución o complementariedad entre el carbón y la electricidad, ya que, cuando aumenta el precio relativo del otro tipo de energía, la eficiencia energética de la fuente en cuestión disminuye. En el cuadro 2 se presentan las elasticidades precio propias y cruzadas identificadas por estudios con evidencia empírica.

Cuadro 2
Elasticidad precios relativos de la energía en la intensidad energética

Fuente	Método	Lugar	Dependiente	Explicativa	Elasticidad ^a
Fisher-Vanden <i>et al.</i> (2004)	SUR 1997-1999	China	Intensidad energética: total, carbón, petróleo, y electricidad (logaritmos)	Precios relativos de la energía: total, carbón, petróleo, y electricidad (logaritmos)	-0,37 (total), -0,40 (carbón), -0,91 (petróleo), -0,23 (electricidad) 0,60 (carbón-petróleo) 0,08 (carbón-electricidad) 0,46 (petróleo-carbón) 0,17 (petróleo-electricidad) -0,08 (electricidad-carbón) 0,31 (electricidad-petróleo)
Hang y Tu (2007)	SUR 1985-2004	China	Intensidad energética: total, carbón, petróleo, y electricidad (logaritmos)	Precios relativos de la energía: total, carbón, petróleo, y electricidad (logaritmos)	-0,65 (total), -1,60 (carbón), -0,06 (petróleo), 0,43 (electricidad), -0,28 (carbón-petróleo) 0,40 (carbón-electricidad) 0,14 (petróleo-carbón) -0,12 (petróleo-electricidad) -0,60 (electricidad-carbón) 0,11 (electricidad-petróleo)
Chen <i>et al.</i> (2016)	Análisis de frontera eficiente 1982-2011	Taiwán	Eficiencia energética	Precios relativos de la energía	0,077 (corto plazo) 0,144 (largo plazo)

Fuente: Elaboración propia

^a Elasticidad no significativa con un nivel de confianza del 90%. La elasticidad cruzada se lee de la siguiente manera: cuando aumenta el precio del carbón en 1%, la intensidad energética del petróleo aumenta en 0.60%.

De acuerdo a los resultados de estudios previos, se espera una relación negativa entre los precios relativos y la intensidad energética, es decir, con precios más altos la cantidad de energía utilizada por unidad de producto tiende a disminuir. Basado en los datos del cuadro 2, se espera que la elasticidad entre los precios relativos de la energía y la intensidad energética oscile entre -0.14⁴ y -0.65

³ La eficiencia energética se define como la cantidad de energía utilizada para generar una unidad de producto, así un aumento en la intensidad energética (más energía por unidad de producto) implica una reducción en la eficiencia energética. De aquí en adelante se utiliza esta definición para referirnos a eficiencia energética.

⁴ Chen et al. (2016) utilizan la eficiencia energética como variable dependiente, por lo tanto, el signo de dicha elasticidad se revierte.

en el caso de estimaciones que utilizan información agregada. Respecto a las elasticidades precio cruzadas y de subsectores, dicha relación puede ser en ambos sentidos. Este efecto está sujeto al grado de sustitución o complementariedad entre las fuentes de energía en cuestión. En este documento se identifica el efecto de un impuesto a los combustibles fósiles en la eficiencia energética mediante sus precios relativos, puesto que se asume que dicho impuesto se trasladará de forma directa a los consumidores vía precios.

3. Uso de energías renovables y crecimiento económico

La relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico es una de los procesos descritos en la figura 1 con mayor documentación en la literatura existente. De acuerdo con Tugcu et al. (2012), los estudios previos han identificado cuatro tipos de interacción entre estas variables: i) causalidad unidireccional del consumo de energía al crecimiento económico, o hipótesis del crecimiento, la cual afirma que este insumo complementa al trabajo y capital en la función de producción; ii) causalidad unidireccional del crecimiento económico hacia el consumo de energía, o hipótesis de conservación; iii) causalidad bidireccional entre ambas variables, o hipótesis de retroalimentación; y por último iv) ninguna relación entre crecimiento y consumo de energía, o hipótesis de neutralidad.

Esta relación entre uso de energías renovables y el crecimiento económico se ha explorado en la literatura económica utilizando el consumo total de energía (Lee, 2006; Soytaş et al., 2007; Lise y Montfort, 2007; Huang et al., 2008; Akinlo, 2008; Chontanawat et al., 2008; Narayan y Smyth, 2008; Apergis y Payne, 2009a,b y 2010a,b; Bowden y Payne, 2009; Belloumi, 2009; Ozturk et al., 2010; Belke et al., 2011; Eggoh et al., 2011; Kaplan et al., 2011), el consumo de energías renovables (Chien y Hu, 2007; Sadorsky, 2009; Apergis y Payne, 2010c,d y 2011a; Menegaki, 2011; Payne, 2011; Fang, 2011; Tiwari, 2011a;), y ambas fuentes de energía: renovables y no renovables (Chien y Hu, 2007; Sadorsky, 2009; Apergis y Payne 2010c,d y 2011a; Payne, 2011; Menegaki, 2011; Fang, 2011; Tiwari, 2011a). Sobre la base de la relación planteada en la figura 1, este documento se basa en el conjunto de estudios que incorporan el consumo de energías renovables en la función de crecimiento económico y asumiendo el cumplimiento de la hipótesis del crecimiento.

Con el propósito de guiar el análisis empírico, en el cuadro se 3 presentan los resultados obtenidos por aquellas investigaciones que incorporan el consumo de energías renovables, y en algunos casos el consumo de energías no renovables, en la ecuación de crecimiento económico. A pesar de que se utilizan diferentes formas funcionales o metodologías en este conjunto de estudios, se señalan aquellos en los que es posible identificar la elasticidad del consumo de energías renovables en el producto o producto per cápita.

Tomando en cuenta el conjunto de estudios que introduce el consumo de energías renovables, y no el porcentaje de este tipo de energía en el consumo total, se espera que dado un aumento del 1% en la demanda de energías renovables el producto agregado total aumente entre 0,06% y 0,76%, mientras que, el producto per cápita se incremente entre 0,09% y 0,16%. Además de ello, estudios previos indican que las diferencias en las magnitudes de las elasticidades de demanda de estos dos tipos de energía dependen del contexto de análisis. En países con altos niveles de uso de combustibles fósiles se espera una elasticidad mayor para la variable de consumo de energías no renovables en comparación a las energías renovables.

Cuadro 3
Elasticidad del uso de energías renovables en el crecimiento económico

Fuente	Método	Lugar	Dependiente	Explicativa	Elasticidad
Chien <i>et al.</i> (2008)	SEM 2003	116 países	PIB corriente	Consumo de energías renovables	-0,005 ⁺ *
Apergis <i>et al.</i> (2010)	FMOLS 1985-2005	20 países	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,76 (FMOLS)
Apergis <i>et al.</i> (2010)	FMOLS 1992-2007	13 países de Europa y Asia	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,20
Apergis <i>et al.</i> (2010)	FMOLS 1980-2006	9 países de América del Sur	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,24
Menegaki (2011)	Efectos aleatorios 1997-2007	27 países europeos	PIB per cápita en términos PPP	% de consumo de energías renovables del total de energía	4,40
Fang (2011)	OLS 1978-2008	China	PIB real y PIB real per cápita (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,12 (PIB) 0,16 (PIBpc)
Tugcu <i>et al.</i> (2012)	ARDL 1980-2009	Países del G7	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,06, NA, 0,01 ⁺ , 0,06, NA, NA, 0,18 ⁺ **
Apergis <i>et al.</i> (2012)	FMOLS 1990-2007	80 países	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,37
Bhattacharya <i>et al.</i> (2016)	FMOLS DOLS 1991-2012	38 países	PIB real (logaritmo)	Consumo de energías renovables (logaritmo)	0,10 (DOLS) 0,11 (FMOLS)
Inglesì (2016)	Efectos fijos 1990-2010	32 países de la OCDE	PIB real y PIB real per cápita (logaritmo)	Consumo de energías renovables (trc=total y src=proporción) (logaritmo)	0,11 (PIB-trc) 0,09 (PIB-src) 0,10 (PIBpc-trc) 0,09 (PIBpc-src)

Fuente: Elaboración propia

Nota: ⁺ Elasticidad no significativa con un nivel de confianza del 90%

* Efecto marginal o semi-elasticidad

** Efectos para cada uno de los países del G7, respectivamente

NA: estimación no disponible.

PIBpc: PIB per cápita; trc y src: consumo total y proporción de energía renovable.

Respecto al efecto que tiene un impuesto al carbono sobre el crecimiento económico, Galindo *et al.* (2017) analizan 35 estudios empíricos que identifican dicha interacción a través de un meta-análisis. Los resultados principales indican que el efecto de un impuesto al carbono sobre el PIB oscila entre -51% y 52%. Dicha variación depende del nivel de desarrollo de las economías en cuestión, su grado de apertura comercial, la estructura productiva, y la intensidad en el uso de energía. En general, se espera que niveles bajos del impuesto puedan tener un efecto positivo sobre el crecimiento económico, mientras que, niveles superiores podrían afectar negativamente la trayectoria del producto agregado. Por lo tanto, esto sugeriría una relación de tipo U invertida entre impuestos al carbono y el producto.

4. Crecimiento económico y desigualdad

A partir de la segunda mitad del siglo XX, un amplio número de estudios han investigado la relación que existe entre el crecimiento económico y la desigualdad en la distribución del ingreso. La literatura existente sugiere que, en etapas tempranas de desarrollo económico, las sociedades observan generalmente niveles más altos de desigualdad, mientras que, estados más avanzados de desarrollo permiten menor desigualdad en la distribución del ingreso. En una economía donde inicialmente existe un sector con: bajos niveles de ingreso, mayor equidad, y con la mayor participación en el producto agregado (sector agrícola o rural); y otro sector con: ingresos altos, inequidad, y menor participación en la economía (sector industrial o urbano), el crecimiento económico origina una transición de recursos y personas hacia el sector con mayores ingresos per cápita generando mayores niveles de desigualdad. Este efecto obedece a la expansión del sector con mayor riqueza y menor participación en el producto agregado. Por lo tanto, en etapas tempranas del desarrollo se espera una relación positiva entre el producto per cápita y desigualdad (Barro, 2000).

La relación entre crecimiento económico y desigualdad descrita anteriormente puede revertirse en etapas más avanzadas de desarrollo. En efecto, como consecuencia de cambios en la productividad, modificaciones de los patrones de ahorro de los agentes económicos, nuevos esquemas de trabajo, e innovación tecnológica, el crecimiento económico puede generar mayor igualdad en la distribución del ingreso. Retomando el ejemplo anterior, la disminución en la fuerza laboral del sector con mayor rezago, dada la transferencia de recursos y mano de obra hacia sectores con mayores niveles de ingreso, originará presiones sobre los salarios relativos en este sector, lo cual, reducirá el grado de desigualdad. Así, en etapas avanzadas de desarrollo económico se espera una relación negativa entre el producto per cápita y desigualdad del ingreso (Kuznets, 1955; Deininger y Squire, 1997).

Algunos autores como Kuznets (1955), Ahluwalia (1976), Papanek y Kyn (1986), Campano y Salvatore (1988), Bourguignon y Morrison (1990), Bourguignon (1994), Milanovic (1995), Jha (1996) y Barro (2000), han investigado la relación anterior utilizando como fundamento teórico la hipótesis de Kuznets, la cual sugiere una relación de U invertida entre ambas variables, encontrando evidencia empírica que valida dicha conjetura. Otros autores como Polak y Williamson (1990), Oshima, (1994), Deininger y Squire (1998) no encuentran evidencia empírica que valide dicha hipótesis. Algunas de las razones que justifican la invalidez de la hipótesis de Kuznets en la literatura son: i) la relación entre crecimiento económico e inequidad es poco elástica o, ii) simplemente no se cuenta con información estadística sólida para un período de tiempo considerable que permita identificar la transición del conjunto de economías hacia niveles más avanzados de desarrollo. En su lugar, se asume una relación lineal entre ambas variables. En el cuadro 4 se presenta una serie de resultados empíricos que identifican la elasticidad de crecimiento económico y el nivel de desigualdad en la distribución de ingresos.

Los resultados de investigaciones empíricas descritos en el cuadro 4 sugieren tres tipos de relaciones entre el crecimiento económico y el nivel de desigualdad: efecto positivo, nulo o negativo. Basado en estudios donde se incluye únicamente el término lineal del producto per cápita en la ecuación de desigualdad, se espera que la elasticidad del crecimiento e inequidad se ubique entre -0.93 y 0.40, la cual depende de cada caso de estudio.

Cuadro 4
Elasticidad crecimiento económico e inequidad en la distribución del ingreso

Fuente	Método	Lugar	Dependiente	Explicativa	Elasticidad
Gyimah-Brempong, 2002	OL, IV y LIML 1993-1999	21 países de África	Coeficiente de Gini (niveles)	PIB per cápita y crecimiento del PIB (niveles)	0,001 ⁺ ** (OLS PIBpc)
					0,001 ⁺ ** (IV PIBpc)
					0,001 ⁺ ** (LIML PIBpc)
					-1,54 ^{**} (OLS PIB-crec)
					-1,08 ^{**} (IV PIB-crec)
-1,41 ^{**} (LIML PIB-crec)					
Gupta, 2002	OLS 1980-1997	NA	Coeficiente de Gini (niveles 0-1)	PIB per cápita (niveles)	-0,05 [*]
Choi, 2006	OLS 1993-2002	119 países	Coeficiente de Gini (niveles 0-100)	PIB per cápita	-0,52 ^{**} – -0,80 ^{**} (diferentes especificaciones del modelo)
Clark, 2008	2SLS 1990-2000	NA	Coeficiente de Gini (niveles 0-100)	PIB per cápita (niveles)	-1,49 [*]
Alam y Paramati, 2016	FMOLS 1991-2012	49 países en vías de desarrollo	Coeficiente de Gini (logaritmo)	PIB per cápita (logaritmo)	-0,05 (FMOLS)
					-0,12 (FMOLS)
Raza y Shah, 2017	FMOLS 1995-2015	43 países	Coeficiente de Gini (logaritmo)	PIB per cápita (logaritmo)	-0,31 (Toda la muestra)
					-0,93 (Europa)
					0,40 (Asia-pacífico)
					-0,71 (América)

Fuente: Elaboración propia

Nota: ⁺ elasticidad no significativa con un nivel de confianza del 90%

** efecto marginal o semi-elasticidad

NA: información no disponible, la muestra de países varía en cada estimación debido a la disponibilidad de datos.

5. Desigualdad y emisiones de CO₂

En años recientes el efecto de cambios en la distribución del ingreso, debido al crecimiento económico, en el nivel de emisiones de CO₂ se ha popularizado.⁵ Boyce (1994) es uno de los primeros autores en presentar evidencia empírica que sustenta la existencia de esta relación. Desde el punto de vista teórico, algunos autores sugieren que la desigualdad del ingreso afecta negativamente al medio ambiente, debido a que, la inequidad profundiza los patrones de consumismo e individualismo, mayor número de personas en situación de pobreza incentiva a los gobiernos a implementar políticas de crecimiento económico dejando de lado las políticas en pro del medio ambiente, y los sectores con mayores ingresos no se interesan por la protección del ambiente (Boyce, 1994; Magnani, 2000; y Wilkinson y Pickett, 2010). Sin embargo, otros estudios sugieren la relación contraria argumentando que la concentración de la riqueza en los deciles de más altos ingresos disminuye las presiones sobre el medio ambiente. Dados los patrones de comportamiento de dichos agentes, éstos ejercerán mayores presiones para implementar políticas en pro de mejores condiciones ambientales (Scruggs, 1998; Heerink et al., 2001).

La literatura existente sugiere un consenso respecto a que la magnitud y dirección de dicho efecto depende del nivel de desarrollo económico de cada economía o sector en cuestión (Holtz-Eakin y Selden, 1995; Heil y Selden, 1999; Borghesi, 2006). Por ejemplo, Heerink et al. (2001) argumentan que, si las personas con bajos ingresos en países menos desarrollados tienen una mayor propensión marginal a emitir, un mayor nivel de desigualdad tiende a mejorar la calidad ambiental, es decir, existe una relación negativa entre desigualdad y emisiones de carbono per cápita. Este razonamiento surge de la idea de que las personas con mayores ingresos reducirán sus emisiones al tener acceso a mejores

⁵ Véase Drabo, 2011 pp.160. Este estudio presenta una revisión de literatura sobre el efecto de la desigualdad en el ingreso sobre diferentes gases y variables ambientales. Incluyendo CO₂. Referirse a Berthe y Elie, 2015 pp. 197 para una revisión de análisis empíricos.

tecnologías, mientras que, las personas en los segmentos con mayor nivel de pobreza quedarían excluidos de la economía baja en carbono i.e. menor demanda de combustibles fósiles (Ravallion et al., 2000; Heerink et al., 2001).

Por otro lado, autores como Boyce (1994) y Torras y Boyce (1998) argumentan que la propensión marginal a emitir puede aumentar conforme aumenta el ingreso per cápita. Este efecto obedece a que la demanda de bienes de lujo, cuya producción se basa en altos niveles de intensidad energética, se incrementa. En este sentido, estos estudios sugieren una relación positiva entre inequidad en la distribución del ingreso y el nivel de emisiones de CO₂. Los argumentos anteriores sugieren que el punto en el cual las reducciones en la desigualdad dejan de ser beneficiosas para el medio ambiente está determinado por el nivel de producto per cápita del país o región de análisis (Grunewald et al., 2017). En el cuadro 5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos por diversos análisis empíricos para identificar la relación entre la desigualdad en la distribución de ingresos y las emisiones de CO₂.

Cuadro 5
Elasticidad de la inequidad en las emisiones de CO₂

Fuente	Método	Lugar	Dependiente	Explicativa	Elasticidad
Ravallion <i>et al.</i> (2000)	Efectos fijos y POLS 1975-1992	42 países	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: interacción con PIBpc, PIBpc ² , población y tendencia de tiempo (niveles)	-0,036 (POLS) NA (efectos fijos)
Heerink <i>et al.</i> (2001)	GMM 1985	64 países	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal (logaritmo)	-1,12
Borghesi (2006)	Efectos fijos y OLS 1988-1995	35 países	Emisiones de CO ₂ per cápita (niveles)	Coefficiente de Gini: Lineal (niveles)	0,01 ^{***} (efectos fijos) -0,09 (OLS)
Grunewald <i>et al.</i> (2011)	Efectos fijos 1960-2008	138 países	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal, cuadrático, interacción PIBpc (logaritmos)	-7,22 (lineal) 0,79 (cuadrado) 0,14 (interacción)
Drabo (2011)	2SLS con efectos fijos 1970-2000	90 países	Emisiones de CO ₂ por unidad de producto (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal (niveles)	4,41 ^{**}
Baek y Gweisah, (2013)	ARDL 1967-2008	Estados Unidos	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal (logaritmo)	0,76
Grunewald <i>et al.</i> (2017)	Efectos fijos agrupados 1980-2008	158 países	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal, e interacción PIBpc (logaritmos)	-2,20 (lineal) 0,24 (interacción)
Wolde-Rufael y Idowu (2017)	ARDL, DOLS y FMOLS 1971(74)-2010	China e India	Emisiones de CO ₂ per cápita (logaritmo)	Coefficiente de Gini: lineal (logaritmo)	0,04 ⁺ (ARDL-Ch) 0,02 ⁺ (DOLS-Ch) 0,02 ⁺ (FMOLS-Ch) -0,10 ⁺ (ARDL-In) 0,16 ⁺ (DOLS-In) 0,04 ⁺ (FMOLS-In)

Fuente: Elaboración propia

Nota: + elasticidad no significativa con un nivel de confianza del 90%

** Efecto marginal o semi-elasticidad

NA: estimación no disponible. PIBpc: PIB per cápita.

De acuerdo con la información del cuadro 5, la relación entre desigualdad y emisiones de CO₂ es ambigua. Se espera que dicha elasticidad sea negativa, positiva o no significativa dependiendo del nivel de desarrollo de las unidades de análisis. Por lo tanto, es relevante controlar por el nivel de producto agregado per cápita en la función de emisiones tal y como se sugiere en el conjunto de estudios empíricos. Tomando en cuenta el grupo de estudios que utiliza el término lineal del coeficiente de Gini en la ecuación de emisiones, se espera que la elasticidad de la desigualdad del ingreso y emisiones de CO₂ se ubique en un rango entre -1.12 y 0.76.

II. Metodología e información estadística

Considerando las relaciones descritas en la sección anterior se plantea el uso de un sistema de ecuaciones recursivas con cinco modelos econométricos para estimar los efectos económicos, sociales y ambientales de largo plazo de la imposición de un impuesto a los combustibles fósiles en América Latina. Cada una de las ecuaciones se estima utilizando la metodología FMOLS (mínimos cuadrados ordinarios completamente modificados, por sus siglas en inglés). Esta metodología de datos panel con cointegración permite identificar la relación de largo plazo entre las variables. Debido a que SOLS (mínimos cuadrados ordinarios estáticos, por sus siglas en inglés) genera problemas en la correlación de largo plazo entre la ecuación de cointegración y los errores estocásticos de la misma, FMOLS es una estimación semi-paramétrica que corrige ese problema. Las estimaciones obtenidas por FMOLS permiten realizar pruebas de Wald típicas usando inferencia estadística asintótica a la Chi-cuadrada, χ^2 , donde los estimadores son asintóticamente insesgados y eficientes a la distribución normal. Por lo tanto, con FMOLS se garantiza interpretación lineal, eficiente y consistente, de los estimadores obtenidos.

1. Ecuación de consumo de energías renovables (RE)

Para identificar el efecto de un impuesto a los combustibles fósiles en el uso de energías renovables se define su forma funcional como lo sugiere la literatura. Se toman los precios relativos de los combustibles fósiles como variable proxy de un impuesto al carbono. De esta forma es posible estimar los cambios en la demanda de energía renovable que resultan de variaciones en los precios relativos de los combustibles fósiles. Dicha relación se define de la siguiente manera (Sadorsky, 2009 y Salim y Rafiq, 2012):

$$re_{it} = \beta_{0t} + \beta_{1t}pr_{it} + \beta_{2t}pib_{it} + u_{it} \quad (1)$$

donde, re_{it} representa el consumo de energías renovables en el país (i) durante el período (t) . Esta variable incluye la energía hidroeléctrica, biocombustibles sólidos y líquidos, eólica, solar, biogás, geotérmica, y marina. pr_{it} son los precios relativos de los combustibles fósiles, en este caso de la gasolina y *diesel*. Estos precios normalmente se definen como la relación de precios de los

combustibles y los precios de los productos o insumos en la economía. Asimismo, se incluye el PIB per cápita, pib_{it} , como indicador del nivel de ingresos en el país correspondiente.

2. Ecuación de intensidad energética (IE)

La segunda relación en la figura 1 corresponde al efecto de un impuesto al carbono en los procesos de innovación tecnológica. La hipótesis de este efecto sugiere que un aumento en los precios de la energía de fuentes no renovables, vía impuesto, resulta en una menor intensidad energética. Este mecanismo se debe a que, para garantizar la autosuficiencia energética se optará por aquellas opciones más eficientes brindando incentivos adicionales al desarrollo tecnológico. La forma funcional de la ecuación de intensidad energética se define como (Hang y Tu, 2007; Fisher-Vanden et al., 2004; Chen et al., 2016):

$$ie_{it} = \alpha_{0t} + \alpha_{1t}pr_{it} + \alpha_{2t}pib_{it} + u_{it} \quad (2)$$

donde, ie_{it} se define como la cantidad de energía utilizada para generar una unidad de producto; pr_{it} son los precios relativos de la energía; y el PIB per cápita, pib_{it} , se incluye en la función de eficiencia como indicador del nivel de ingresos del país y período correspondiente.

3. Ecuación de crecimiento económico (PIB)

Con el propósito de identificar la elasticidad del uso de energías renovables en el crecimiento económico, se estima una función de producción que incluye el consumo de energía renovable y no renovable, uso de capital, mano de obra y precios de combustibles. De acuerdo con estudios previos, la forma funcional de esta relación se define de la siguiente manera (Apergis et al., 2012; Inglesi, 2016; Tugcu et al., 2012; Menegaki, 2011):

$$pib_{it} = \gamma_{0t} + \gamma_{1t}pr_{it} + \gamma_{2t}pr_{it}^2 + \gamma_{3t}re_{it} + \gamma_{4t}nore_{it} + \gamma_{5t}fbcf_{it} + \gamma_{6t}ft_{it} + u_{it} \quad (3)$$

donde, la variable dependiente, pib_{it} , es el producto per cápita; re_{it} y $nore_{it}$ denotan el consumo de energía de fuentes renovables y no renovables, respectivamente; $fbcf_{it}$ representa la formación bruta de capital fijo, ft_{it} el tamaño de la fuerza laboral, y pr_{it} son los precios relativos de la energía. Además de lo que señalan estudios previos sobre la especificación de la función del producto, se incluyen los precios relativos de la energía para capturar el efecto de los impuestos al carbono en el nivel de actividad económica.

4. Ecuación de la distribución del ingreso (GINI)

La cuarta relación corresponde al efecto del crecimiento económico en la distribución del ingreso. En este caso, el coeficiente de Gini es utilizado como medida de distribución de ingresos en estudios que comprenden un conjunto de economías. Valores cercanos a cero en este indicador sugieren menor desigualdad en la distribución del ingreso. Estudios previos señalan que la forma funcional de la relación entre distribución del ingreso y crecimiento económico se puede expresar de la siguiente manera (Raza y Shah, 2017; Alam y Paramati, 2016; Deininger y Squire, 1998; Gyimah-Brempong, 2002; Barro, 2000):

$$gini_{it} = \theta_{0t} + \theta_{1t}pib_{it} + \theta_{2t}gob_{it} + \theta_{3t}ied_{it} + \theta_{4t}aper_{it} + u_{it} \quad (4)$$

donde, $gini_{it}$ representa el índice de Gini; pib_{it} el PIB per cápita; gob_{it} es el gasto de gobierno per cápita en términos reales; ied_{it} denota la inversión extranjera directa en valores constantes; y, $aper_{it}$ es el coeficiente de apertura comercial, o la suma del valor de las exportaciones e importaciones de bienes y servicios como porcentaje del PIB. Dada la especificación del modelo, una elasticidad negativa implica una disminución en el valor del índice de Gini (menor desigualdad) como consecuencia de un incremento en la variable explicativa en cuestión.

5. Ecuación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

El efecto ambiental de un impuesto sobre los combustibles fósiles se estima en relación al nivel de emisiones antropogénicas de CO₂ en la atmósfera. En la construcción de este modelo se consideran al nivel de actividad económica, el consumo de energía, el tamaño poblacional, las transacciones con el exterior, la distribución del ingreso, la transición hacia energías renovables y la intensidad energética como determinantes del nivel de emisiones de CO₂. Así, la literatura sugiere la siguiente especificación (Grunewald et al., 2017; Borghesi, 2006; Baek y Gweisah, 2013; Wolde-Rufael y Idowu, 2017):

$$co2_{it} = \delta_{0t} + \delta_{6t}re_{it} + \delta_{7t}ie_{it} + \delta_{1t}pib_{it} + \delta_{5t}gini_{it} + \delta_{2t}ener_{it} + \delta_{3t}pob_{it} + \delta_{4t}aper_{it} + u_{it} \quad (5)$$

donde, $co2_{it}$ indica el nivel de emisiones per cápita; re_{it} , ie_{it} , pib_{it} , $gini_{it}$, $aper_{it}$, se definen como en las ecuaciones anteriores; $ener_{it}$ es el uso de energía per cápita; y, pob_{it} representa la población total.

6. Base de datos

La base de datos proviene de fuentes oficiales, tales como, la Comisión Económica Para América Latina (CEPAL), el Banco Mundial (BM) y la base de datos normalizada sobre la desigualdad de la renta mundial (SWIID por sus siglas en inglés) publicada por Solt (2016). El conjunto de interacciones planteadas en la figura 1 comprende 14 variables para una muestra de 17 países de América Latina⁶.

Los precios relativos de la energía (pr_{it}) se obtienen de la relación entre el promedio simple de los índices de precios de gasolinas y diesel sobre el índice de precios al consumidor del país y período correspondientes. Estos datos provienen de la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y del Banco Mundial. La intensidad energética (ie_{it}) se mide como el grado de intensidad energética en megajoules por unidad de producto medido en dólares de 2011 en paridad del poder adquisitivo y es publicado por el Banco Mundial. Asimismo, el consumo de energías renovables (re_{it}) se obtiene de la misma fuente de información y se introduce en el análisis como la suma del consumo de energía hidroeléctrica, biocombustibles sólidos y líquidos, eólica, solar, biogás, geotérmica, marina y recuperación de energía, medido en terajoules. El consumo de energía no renovables ($nore_{it}$) proviene del uso de combustibles fósiles. Asimismo, el consumo total de energía ($ener_{it}$) se define

⁶ Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Estado Plurinacional de Bolivia El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y la República Bolivariana de Venezuela.

como el uso de energía primaria antes de su transformación, se mide en kg. equivalentes de petróleo per cápita, y se obtuvo de la Agencia Internacional de Energía (IEA).

Respecto al conjunto de variables económicas, se utiliza el Producto Interno Bruto per cápita (pib_{it}) medido en precios de 2010. Asimismo, se utiliza la formación bruta de capital fijo ($fbcf_{it}$), medido en valores constantes de 2010, como variable proxy de uso de capital en la función de producto. La fuerza laboral (ft_{it}) se define como el número total de personas mayores de 15 años que se encuentran laborando o desempleados, pero en búsqueda de empleo. La desigualdad en la distribución de ingresos se mide por el coeficiente de Gini ($gini_{it}$). Debido a la falta de información en las bases de datos del Banco Mundial y de la CEPAL, se utilizó la base de datos normalizada sobre la desigualdad de la renta mundial (SWIID)⁷. La magnitud de políticas públicas para disminuir la inequidad social se introduce en el modelo de desigualdad a través del gasto del gobierno per cápita (gob_{it}) en valores constantes de 2010. La inversión extranjera directa (ied_{it}) representa el flujo neto de entradas de capital extranjero al país en cuestión y se mide en valores constantes de 2010 per cápita. Del mismo modo, el coeficiente de apertura comercial ($aper_{it}$) se refiere al valor total de exportaciones e importaciones de bienes y servicios como proporción del Producto Interno Bruto. El tamaño poblacional (pob_{it}) indica el número total de habitantes. El conjunto de indicadores anteriores se obtiene del Banco Mundial y la CEPAL, excepto el coeficiente de Gini. Por último, el nivel de emisiones de CO₂ per cápita ($co2_{it}$), en toneladas métricas, es publicado por el Banco Mundial con base en información del Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono del Laboratorio Nacional Oak Ridge. En el cuadro 6 se presentn las estadísticas descriptivas para cada una de las variables mencionadas anteriormente.

Al combinar el conjunto de variables económicas, sociales y ambientales, resulta que los años comprendidos entre 1993 y 2012 cuentan con mayor información para el conjunto de economías consideradas en el análisis. Sin embargo, existen un número reducido de entradas en la base de datos sin información para las variables de precios relativos y el coeficiente de Gini. Por lo tanto, la estructura de la base de datos corresponde a un panel no balanceado. La siguiente sección presentalos resultados obtenidos.

⁷ Disponible en: <http://fsolt.org/swiid/>. En este documento se utiliza el valor del índice que utiliza los ingresos brutos de los hogares.

Cuadro 6
Definición de variables y estadísticas descriptivas 1993-2012

Variación	Definición	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínima	Máxima
<i>pr_{it}</i>	Precios relativos de diesel y gasolina (2010=100)	272,21	100,00	938,28	39,60	8 081,00
<i>pr_{it}</i>	Eficiencia energética (MJ/2011 USD PPP)	3,26	3,01	0,93	1,82	5,89
<i>re_{it}</i>	Consumo de energías renovables (miles de TJ)	297,57	107,99	678,49	23,14	3 838,20
<i>nore_{it}</i>	Consumo de energías no renovables (miles de TJ)	724,99	126,15	1,122,51	20,42	4 909,72
<i>pi_{it}</i>	PIB per cápita (miles de dólares 2010=100)	5,82	4,95	3,34	1,06	14,65
<i>fbcf_{it}</i>	Formación bruta de capital fijo (miles de millones de dólares 2010=100).	45,69	7,69	85,98	1,43	488,35
<i>ft_{it}</i>	Fuerza laboral (millones de personas)	13,30	4,65	21,63	1,03	102,27
<i>gini_{it}</i>	Coefficiente de Gini (0=perfecta igualdad)	50,71	51,12	3,96	37,91	59,72
<i>gob_{it}</i>	Gasto de consumo final general del sector público per cápita (dólares 2010=100)	782,31	742,40	526,99	68,19	2 189,31
<i>ied_{it}</i>	Inversión extranjera directa per cápita, entradas netas (dólares 2010=100)	211,72	123,90	243,99	-127,97	1 614,09
<i>aper_{it}</i>	Coefficiente de apertura comercial (porcentaje del PIB)	64,61	56,33	31,63	15,64	165,31
<i>co2_{it}</i>	Emisiones de CO ² per cápita (toneladas métricas)	2,10	1,60	1,52	0,52	7,61
<i>ener_{it}</i>	Uso de energía per cápita (Kg eq. de petróleo)	963,17	736,13	505,63	418,96	2 493,47
<i>pob_{it}</i>	Población total (millones de personas)	29,53	11,55	45,10	2,63	260,56

Fuente: elaboración propia con datos de CEPALSTAT, Banco Mundial y SWIID.

La muestra incluye 17 países (Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, el Estado Plurinacional de Bolivia, Brasil, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y la República Bolivariana de Venezuela) durante el período 1993-2012. Número de observaciones=340.

III. Resultados

Con el propósito de determinar el efecto de un impuesto a los combustibles fósiles en variables económicas, sociales y de transferencia de tecnología se estima un sistema recursivo de cinco ecuaciones a partir del conjunto de relaciones planteadas en la figura 1. Las elasticidades de largo plazo se estiman utilizando modelos de panel cointegrado mediante el método FMOLS. Las estimaciones utilizan una muestra de 17 países de América Latina durante el período 1993-2012. Cada una de las variables utilizadas en las cinco especificaciones corresponde al logaritmo natural de las series originales. Para asegurar que las estimaciones obtenidas mediante el método FMOLS sean eficientes y consistentes, se realizaron pruebas de raíz unitaria a cada una de las variables de los cinco modelos y pruebas de cointegración a cada una de las ecuaciones. Los resultados de las pruebas de raíz unitaria, ADF (*Augmented Dickey-Fuller*), IPS (Im, Pesaran y Shin) y LLC (Levin, Lin y Chu), se presentan en el cuadro A.1 anexo. La hipótesis nula de estas pruebas sugiere la presencia de raíz unitaria. Así, los resultados sugieren que todas las variables utilizadas en el análisis son no-estacionarias con orden de integración I(1).

El análisis de las relaciones de largo plazo descritas en las ecuaciones (1)-(5) considera las siguientes pruebas de cointegración: Pedroni (1999,2004), Kao (1999) y Maddala y Wu (1999). Las primeras dos pruebas tienen la hipótesis nula de no-cointegración del grupo de variables y la prueba de Maddala y Wu considera como hipótesis nula, de manera escalada, el número de relaciones de cointegración existentes el grupo de variables. Los resultados de las pruebas de cointegración se muestran en el cuadro A.2 del anexo. En general, los resultados de las pruebas de Pedroni y Maddala y Wu sugieren la existencia de al menos una relación de cointegración para cada uno de los grupos de variables evaluadas. Las pruebas de cointegración de Kao para las variables incluidas en las ecuaciones de consumo de energía renovable (1), eficiencia energética (2) y distribución del ingreso (3), concluyen que no es posible rechazar la hipótesis nula de no-cointegración. Sin embargo Gutiérrez (2003) advierte sobre la baja eficiencia de la prueba de cointegración con panel de Kao cuando se aplica con número reducido de unidades de corte transversal. En este caso, cada una de las ecuaciones estimadas cuenta con 17 individuos, por lo que se prefiere la interpretación basada en las pruebas de Pedroni y Maddala y Wu. De esta forma, es posible concluir que existe al menos una relación de cointegración para cada una de las ecuaciones propuestas.

En el cuadro 6 se muestran las elasticidades de largo plazo de las relaciones de cointegración normalizadas para cada una de las variables dependientes descritas en las ecuaciones (1)-(5). En conjunto, estas elasticidades describen el efecto de largo plazo de un impuesto a los combustibles fósiles en variables económicas, sociales y de transferencia de tecnología. Los signos de los coeficientes para todas las ecuaciones son los esperados de acuerdo a lo descrito en la revisión de literatura. El análisis de resultados se centra únicamente en aquellos coeficientes de interés para estudiar el conjunto de relaciones descritas en la figura 1.

Estos resultados deben tomarse con precaución ya que los coeficientes en el cuadro 6 representan estimaciones sobre la base de información de 17 países de América Latina, las elasticidades para cada uno de los países pueden variar a nivel país dependiendo del contexto específico de cada país.

La primera consecuencia de la implementación de un impuesto a los combustibles fósiles es el encarecimiento relativo de éstos combustibles con respecto al nivel general de precios. Para las estimaciones descritas en el cuadro 7 el impacto de un impuesto a los combustibles fósiles se refleja en un incremento de los precios relativos de gasolina y *diesel* (pr_{it}). Este incremento encarece el costo de aquéllas actividades intensivas en el uso de combustibles y genera incentivos para incrementar el uso de energías renovables (re_{it}) y disminuir la intensidad energética (ie_{it}) mediante la modificación de procesos productivos y la adopción de nuevas tecnologías. El coeficiente de la variable pr_{it} en las ecuación (1) y (2) describen el efecto de un incremento de 1% en el precio de combustibles fósiles sobre el uso de energías renovables y la intensidad energética en América Latina. Así, los resultados sugieren que un aumento de 1% en el precio relativo de los combustibles fósiles genera un incremento en el uso de energías renovables de 0.072% y una disminución de -0.35% en la intensidad energética. Estos resultados se encuentran dentro del rango de resultados obtenidos por estudios previos (véase sección 2.1 y 2.2). Además, los resultados son consistentes con lo propuesto por autores como Mahmood y Marpaung (2014) que sugieren que en países en desarrollo existe una mayor flexibilidad para ajustar incrementos en el precio de combustibles mediante la reducción de la intensidad energética a un bajo costo debido a que estos países aún no incorporan las tecnologías más eficientes en sus procesos productivos. Un menor coeficiente asociado con el consumo de energías renovables se explica atendiendo a que la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables requiere de cambios sustanciales en la tecnología aplicada a los procesos productivos (IRENA, 2015; UNEP, 2016).

Cuadro 7
Efectos de impuesto a los combustibles fósiles en América Latina:
modelos Panel Cointegrado (FMOLS)

Ecuación	Variable dependiente	Coeficientes						
(1)	re_{it}	pr_{it}	pib_{it}					
		0,072*	0,898***					
		(0,041)	(0,065)					
(2)	ie_{it}	pr_{it}	pib_{it}					
		-0,350*	-0,056***					
		(0,064)	(0,030)					
(3)	pib_{it}	pr_{it}	pr_{it}^2	re_{it}	$nore_{it}$	$fbcf_{it}$	ft_{it}	
		0,486*	-0,050*	0,087***	0,136***	0,211***	0,158***	
		(0,263)	(0,029)	(0,015)	(0,018)	(0,008)	(0,030)	
(4)	$gini_{it}$	pib_{it}	gob_{it}	ied_{it}	$aper_{it}$			
		-0,110**	-0,095*	0,021***	-0,014			
		(0,055)	(0,056)	(0,004)	(0,021)			
(5)	$co2_{it}$	re_{it}	ie_{it}	pib_{it}	$gini_{it}$	$ener_{it}$	pob_{it}	$aper_{it}$
		-0,474***	0,577***	0,537***	-0,422**	0,749***	0,488***	0,053**
		(0,041)	(0,078)	(0,089)	(0,183)	(0,057)	(0,133)	(0,025)

Nota: Errores estándar en paréntesis. ***, ** y * indica rechazo de la hipótesis nula al 1%, 5% y 10% de nivel de significancia, respectivamente. Panel no-balanceado. Periodo 1993-2012 para $i=17$ economías de América Latina. Todas las variables representan el logaritmo natural de sus valores originales.

En la ecuación (3) se describe el efecto de un incremento en los precios relativos de los combustibles fósiles sobre el PIB per cápita de los países de América Latina. De acuerdo con lo descrito en la revisión de la literatura (véase sección 2.3) este efecto se puede transmitir por dos vías. Por un lado, en el largo plazo el aumento de la demanda de energías renovables beneficia el crecimiento de este sector generando mayores inversiones y empleos verdes lo que promueven el crecimiento económico. Por otro lado, el incremento de los precios relativos de los combustibles fósiles promueve la adopción de nuevos procesos y tecnologías más eficientes y limpias lo que resulta en beneficios económicos vía una mayor eficiencia energética, principalmente en países en desarrollo (Mahmood y Marpaung, 2014, Galindo et al., 2017).

Así, los coeficientes de las variables pr_{it} y re_{it} en la ecuación (3) describen los efectos directos e indirectos de largo plazo de un impuesto sobre los combustibles fósiles en el PIB de los países de la región. Los resultados sugieren que un incremento de 1% en el consumo de energías renovables resulta en un crecimiento PIB per cápita de los países de América Latina de 0.087%. Los coeficientes de las variables pr_{it} y pr_{it}^2 muestran una relación no lineal entre el incremento de precios relativos de combustibles fósiles y su efecto sobre el PIB per cápita de los países de la región. Esto indica que el efecto de un incremento de precios en el PIB depende del nivel inicial de precios relativos. Con precios bajos de combustibles un aumento de precio genera incentivos para la adopción de nuevas tecnologías y mejoras que resultan en beneficios económicos, sin embargo, en un contexto de altos precios de combustibles es de suponer que ya se han realizado mejoras en eficiencia energética a bajo costo, por lo que incrementos en los precios de los combustibles generan mayores costos y un efecto negativo en la economía. Los coeficientes de la ecuación (3) sugieren que incrementos en el nivel de precios relativos de los combustibles generan un impacto positivo en el PIB per cápita de la región hasta un valor del índice de 129 (2010 = 100)⁸. Incrementos en el precio de los combustibles por arriba de este valor crítico resultan en impactos negativos en las economías de la región.

Por lo tanto, en el largo, plazo el impacto de incrementos en el precio de combustibles fósiles sobre el PIB per cápita depende del contexto específico de precios en el que ocurra dicho cambio. Para el año 2012 todos los países de la región, con excepción de Honduras, tienen un valor del índice de precios relativos por debajo del valor crítico de 129 unidades (2010 = 100). Sin embargo, en la mayoría de los países (Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, Panamá, Paraguay, Perú y Uruguay) el valor de este índice es superior a 100 unidades, por lo que, de no aplicar políticas de reutilización de ingresos fiscales, los beneficios económicos de un impuesto a los combustibles son marginales. Sin embargo, en países como, Brasil, Ecuador, el Estado Plurinacional de Bolivia Nicaragua y la Republica Bolivariana de Venezuela el valor del índice al año 2012 oscila entre 64 y 99 unidades, lo que sugiere que un impuesto a los combustibles fósiles podría generar beneficios económicos sustanciales aún sin considerar un esquema de reutilización de ingresos fiscales. Esto coincide con los resultados para América Latina presentados por Galindo et al. (2017) con base en un meta-análisis del impacto de un impuesto al carbono en el PIB y un ejercicio de transferencia de beneficios aplicado a los países de la región. No obstante, es importante señalar que, durante el período de la muestra, la mayoría de los países ha observado un valor del índice de precios relativos por arriba del valor crítico señalado. En países como Brasil, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay y Uruguay el valor del índice se situó entre 140 y 188 unidades durante los años 1992-1995, mientras que, en países como Argentina, EL Estado Plurinacional de Bolivia, Ecuador y la República Bolivariana de Venezuela el índice osciló entre 141 y 375 unidades durante el período 2000-2002. Esto sugiere que el contexto actual de precios bajos de la energía resulta favorable para considerar la implementación de un impuesto verde sobre los combustibles fósiles (o impuesto al carbono) en los países de América Latina.

⁸ Esta cifra corresponde al exponencial de 4.86 (= 129). El valor máximo de incremento en el los precios relativos de los combustibles fósiles se calculó de la siguiente manera $0.486/-(2*-0.050) = 4.86$ utilizando los coeficientes estimados de las variables pr_{it} y pr_{it}^2 en la ecuación (3) (véase el cuadro 6).

De acuerdo a lo descrito en las ecuaciones (1) y (2), el efecto de un incremento en el precio de los combustibles fósiles sobre el PIB per cápita (ecuación (3)) tendrá un efecto colateral sobre el consumo de energías renovables y la intensidad energética de las economías de la región. Los resultados de las ecuaciones (1) y (2) sugieren que un aumento del PIB de 1% resultará en un aumento del consumo de energías renovables (re_{it}) de 0.89% y una disminución de la intensidad energética (ie_{it}) de -0.06%. Ambos resultados tienen un efecto positivo en el medio ambiente (disminución de emisiones de CO₂) como se menciona más adelante (ecuación (5)).

Autores como Gyimah-Brempong (2002), Alam y Paramati (2016), y Raza y Shah (2017) sugieren que un incremento en el nivel de actividad económica (PIB) de los países de la región puede tener importantes beneficios sociales mediante la reducción de la desigualdad en la distribución del ingreso (véase sección 2.4). Los resultados de la ecuación (4) muestran el efecto de largo plazo de un incremento en el PIB sobre la desigualdad del ingreso en los países de América Latina, medida por el coeficiente de Gini. Los resultados sugieren que un incremento de 1% en el PIB resulta en una disminución de -0.11% en el valor del coeficiente de Gini. Este resultado refleja algunos de los potenciales beneficios sociales de las políticas fiscales ambientales en la región.

Finalmente, la ecuación (5) considera el efecto de largo plazo de la implementación de un impuesto a los combustibles fósiles en el medio ambiente (CO₂) considerando las interacciones de los efectos económicos, sociales y de transferencia de tecnología, descritos en las ecuaciones (1)-(4). El efecto de un impuesto a los combustibles fósiles sobre las emisiones de CO₂, vía el aumento en consumo de energías renovables y la disminución de la intensidad energética, se muestra en los coeficientes de las variables re_{it} y ie_{it} . Los resultados sugieren que un incremento de 1% en el consumo de energías renovables resulta en una reducción de -0.47% en las emisiones de CO₂, mientras que una relación directa entre intensidad energética y emisiones de CO₂ implica que una disminución de -1% en la intensidad energética resultará en una disminución de -0.58% en las emisiones de CO₂.

Lo coeficientes en las variables pib_{it} y $gini_{it}$ reflejan el efecto secundario de la imposición de un impuesto a los combustibles fósiles en el nivel de emisiones de CO₂ que resulta de las interacciones económicas y sociales descritas en las ecuaciones (1) a (4). Los resultados son los esperados de acuerdo a la revisión de literatura (véase la sección 2.5). El coeficiente asociado a la variable pib_{it} indica que un incremento de 1% en el ingreso per cápita de los países de la región resulta en un incremento de 0.54% en las emisiones de CO₂. La relación inversa entre el coeficiente de Gini ($gini_{it}$) y el nivel de emisiones de CO₂ indica que una disminución de 1% en el índice de Gini (menor desigualdad) resulta en un aumento de 0.42% en el nivel de emisiones de CO₂. Este resultado confirma el cumplimiento de la hipótesis de autores como Ravallion et al. (2000) y Chancel y Piketty (2015) para América Latina. Estos autores sugieren que a medida que disminuye la desigualdad y aumenta el ingreso de los individuos en los deciles de ingresos más bajos existe un cambio en sus patrones de consumo y adoptan estilos de consumo de individuos con ingresos más altos que se caracterizan por un consumo más intensivo en emisiones de CO₂⁹. Estos resultados sugieren que los efectos positivos de la implementación de un impuesto a los combustibles fósiles sobre el PIB per cápita y la desigualdad del ingreso generan interacciones que disminuyen la efectividad de este instrumento de política, aumentan los costos de la política ambiental y dificultan el cumplimiento

Basado en los coeficientes de largo plazo presentados en el cuadro 7, es posible realizar una aproximación del efecto neto de largo plazo para América Latina que resultaría de un impuesto sobre los combustibles fósiles considerando las interacciones económicas, sociales y de transferencia de tecnología. Los resultados de esta estimación se resumen en el cuadro 7 con escenarios de un impuesto en combustibles fósiles

⁹ CEPAL (2015) documenta los diferentes patrones de consumo por decil de ingreso en América Latina para productos intensivos en emisiones de CO₂ como la compra de vehículos automotores y el consumo de combustibles.

de 1%, 5%, 10% y 20%. Los resultados presentados en el cuadro 8 se dividen en dos secciones para resaltar las implicaciones del efecto no lineal del impacto de un aumento en el precio de combustibles sobre el PIB. El panel superior supone la implementación del impuesto en un contexto de precios relativos de combustibles similar al promedio simple observado en América Latina para el año 2012, es decir un valor de 105 unidades (2010 = 100). El panel inferior asume un contexto de altos precios relativos de combustibles con valor del índice de precios relativos igual a 197 unidades, similar al promedio simple observado en la región para el año 2002.

Los resultados del cuadro 8 sugieren que en un contexto de bajos precios de combustibles la implementación de un impuesto verde en América Latina resultaría en un incremento en el consumo de energías renovables (re_{it}), una disminución de la intensidad energética (ie_{it}), un aumento del PIB per cápita (pib_{it}) y una disminución de la desigualdad ($gini_{it}$). La interacción de estos efectos resulta en una disminución de las emisiones de CO₂ en el rango de -0.23% a -4.61% dependiendo del escenario sobre el nivel de impuesto. El coeficiente positivo en el PIB sugiere el cumplimiento de la hipótesis de doble dividendo en los países de América Latina, donde la implementación de un impuesto a los combustibles fósiles podría resultar en beneficios ambientales y económicos, aún sin considerar esquemas de reutilización de ingresos. Aunque los resultados sugieren un incremento en el PIB a medida que aumenta el porcentaje de impuesto, esta relación es no lineal por lo que el incremento porcentual en PIB por cada punto porcentual de tasa impositiva disminuye conforme aumenta el nivel de impuesto. Estos resultados coinciden con lo propuesto por Galindo et al. (2017) con base en un meta-análisis sobre el impacto de un impuesto al carbono sobre el PIB en los países de la región. Además, la variación negativa del índice de Gini, aunque pequeña, sugiere la existencia potencial de beneficios sociales adicionales en términos de la disminución de la desigualdad, lo que autores como Van Heerden et al. (2006) denominan la existencia de un triple dividendo.

Cuadro 8
Efectos sociales, económicos y ambientales de largo plazo de un impuesto a los combustibles fósiles en América Latina
(En porcentajes)

Incremento en pr_{it}	Efecto total de largo plazo					
Valor de pr_{it} promedio de 2012 (= 105)						
	re_{it}	ie_{it}	pib_{it}	$gini_{it}$	=	CO_{2it}
1	0,089	-0,351	0,027	-0,003	=	-0,23
5	0,435	-1,755	0,122	-0,013	=	-1,15
10	0,849	-3,508	0,218	-0,024	=	-2,30
20	1,623	-7,011	0,345	-0,038	=	-4,61
Valor de pr_{it} promedio de 2002 (= 197)						
	re_{it}	ie_{it}	pib_{it}	$gini_{it}$	=	CO_{2it}
1	0,053	-0,349	-0,017	0,002	=	-0,24
5	0,262	-1,744	-0,086	0,009	=	-1,18
10	0,521	-3,488	-0,176	0,019	=	-2,36
20	1,031	-6,974	-0,366	0,040	=	-4,73

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del cuadro 6.

Por otro lado, en el panel inferior del cuadro 8 se muestra que en un contexto de altos precios de combustibles similares al promedio de América Latina para el año 2002, la implementación de un impuesto sobre el precio de éstos tendría un efecto negativo sobre el PIB per cápita de los países de la región (pib_{it}). En este caso, la reducción porcentual en PIB por cada punto porcentual de tasa impositiva aumenta conforme aumenta el monto del impuesto. El efecto negativo del impuesto sobre el PIB repercute sobre la efectividad del impuesto para incentivar el consumo de energías renovables (re_{it}) y disminuir la intensidad energética (ie_{it}) (véase ecuaciones (1) y (2) en cuadro 6). Como muestran los resultados del cuadro 8, la elasticidad de largo plazo para las variables re_{it} y ie_{it} en un contexto de altos precios de la energía (panel inferior) es menor que las reportadas en el panel superior para cada nivel de impuesto. En este contexto, el efecto del impuesto en la reducción del PIB per cápita tiene también efectos sociales negativos generando una mayor desigualdad del ingreso ($gini_{it}$). La interacción de estos efectos resulta en una disminución de las emisiones de CO₂ en el rango de -0.24% a -4.73%, esta disminución es mayor que las reportadas con el escenario de bajos precios relativos para cada uno de los niveles de impuesto. Es decir, en un contexto de altos precios de combustibles un impuesto a los combustibles en América Latina tiene el potencial de generar mayores beneficios ambientales pero con importantes costos económicos y sociales.

En resumen, los resultados sugieren que los instrumentos de política fiscal ambiental en América Latina resultan congruentes para perseguir el cumplimiento de las NDC y además son compatibles con el cumplimiento de otros objetivos de política económica y social (PIB y desigualdad) pero únicamente en un contexto de precios bajos de combustibles. La implementación de un impuesto a los combustibles fósiles en un contexto de precios altos resultará en mayores beneficios ambientales pero con costos económicos y sociales importantes por lo que debe considerarse en este caso aplicar procesos de reciclaje fiscal.

IV. Conclusiones

Como parte de los Acuerdos de París 36% de las economías de América Latina mencionan el uso de instrumentos de mercado para lograr el cumplimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), mientras que 35% de las economías mencionan un interés en explorar el potencial del uso de estos mecanismos. Uno de los instrumentos de política fiscal que ha resultado popular como estrategia de mitigación del cambio climático es el uso de impuestos sobre los combustibles fósiles. Existe un consenso en la literatura en que el uso de estos instrumentos genera incentivos para reducir el consumo de combustibles, estimula la demanda de productos con una mayor eficiencia energética, y promueve una transición hacia el uso de combustibles más limpios y energías renovables. Sin embargo, existe un debate en torno a los efectos económicos y sociales de los impuestos y sus implicaciones para el cumplimiento de las metas de mitigación. Por ejemplo, algunos autores argumentan que la implementación de impuestos al carbono tiene efectos macroeconómicos y redistributivos adversos, mientras que otros sugieren que el uso de impuestos ambientales tiene el potencial de generar efectos económicos y sociales positivos que disminuyen la efectividad de estas políticas sobre la reducción de emisiones de CO₂ incrementando los costos de mitigación.

El objetivo de este documento es explorar el potencial que tiene el uso de políticas fiscales en América Latina para facilitar el cumplimiento de los compromisos ambientales acordados en París, en el contexto del cumplimiento de otros objetivos económicos y sociales de política pública. Para esto se utiliza un sistema recursivo de ecuaciones mediante la metodología de panel cointegrado para estimar los efectos económicos, sociales y ambientales de largo plazo de la implementación de un impuesto a los combustibles fósiles. La muestra incluye 17 países de América Latina para el período 1993-2012.

Los resultados sugieren que un incremento de 1% en los precios relativos de la energía tendrá efectos ambientales positivos en el largo plazo que resultan de un aumento del consumo de energías renovables en 0.07% y una disminución de la intensidad energética de -0.35%. Además, existe evidencia de una relación no lineal con forma de U-invertida entre un aumento de los precios de los combustibles y el PIB per cápita de los países de la región. Los resultados sugieren que incrementos en el nivel de precios relativos por debajo de un nivel de 129 unidades (2010 = 100) tienen un efecto positivo de largo plazo sobre el PIB, mientras que incrementos por arriba de este valor crítico tendrán efectos negativos. Además, un incremento de 1% en el consumo de energías renovables tiene un efecto positivo sobre el PIB de 0.09%, este incremento se asocia al aumento de inversión y generación de empleos verdes. El aumento del PIB también tendrá efectos positivos en el medio ambiente mediante un incremento en el consumo de energías renovables y una disminución de la intensidad energética. A su vez, las variaciones positivas en el producto resultarán en efectos sociales positivos en términos de reducción de la desigualdad medida por el valor del coeficiente de Gini. Los resultados sugieren que un aumento de 1% en el PIB per cápita resultarán en una disminución de -0.11% en el

valor del índice de Gini. La interacción de estos efectos tiene implicaciones para el medio ambiente. Se espera que un incremento de 1% en el consumo de energías renovables resulte en una disminución de -0.47% en el nivel de emisiones de CO₂, mientras que una disminución en la misma proporción de la intensidad energética resultará en una disminución de 0.57% en el nivel de emisiones. Por otro lado, un aumento de 1% del PIB per cápita generará un incremento de 0.54% en el nivel de emisiones de CO₂, mientras que una disminución en la misma proporción del coeficiente de GINI (disminución de la desigualdad) resulta en un aumento de las emisiones de CO₂ de 0.42%. Este último resultado se asocia a un cambio en los patrones de consumo de los individuos en los deciles de ingresos más bajos que conforme aumentan su poder adquisitivo adoptan estilos de consumo propio de individuos con niveles de ingresos más altos que se caracterizan por un consumo más intensivo en emisiones de CO₂.

De esta forma, el efecto total del impuesto en variables económicas, sociales y ambientales depende en gran medida de la relación no-lineal que existe entre el incremento en los precios relativos de la energía y el PIB per cápita. Los resultados sugieren que el efecto total de un impuesto a los combustibles fósiles sobre variables sociales como el PIB y la desigualdad del ingreso (coeficiente de Gini) será positivo si la implementación del impuesto ocurre por debajo del nivel crítico de precios relativos de combustibles de 129 unidades (2009 = 100). Un aumento de precios por arriba de este nivel resultará en efectos económicos y sociales negativos. El efecto del impuesto sobre las variables económicas y sociales tiene implicaciones sobre la efectividad ambiental del impuesto en términos de reducción de emisiones de CO₂. Se estima que considerando este conjunto de interacciones económicas y sociales, un impuesto de 5% en un contexto de precios bajos de combustibles similar al promedio de precios en América Latina en 2012 (105 unidades) generará una disminución de las emisiones de CO₂ de -1.15%, mientras que un impuesto de la misma magnitud en un contexto de precios altos similares al promedio de precios de América Latina en 2002 (197 unidades) resultará en una disminución de -1.18% en las emisiones de CO₂. Esta diferencia aumenta conforme aumenta el monto del impuesto. La diferencia en la efectividad del impuesto en términos de reducción de emisiones en ambos escenarios se debe al efecto del impuesto en variables económicas y sociales. Así, en un contexto de precios elevados de combustibles un impuesto tendrá un efecto negativo sobre el PIB per cápita y la desigualdad por lo que los beneficios ambientales serán mayores.

En resumen, los resultados sugieren que los instrumentos de política fiscal ambiental en América Latina resultan congruentes para perseguir el cumplimiento de las CND y además son compatibles con el cumplimiento de otros objetivos de política económica y social (PIB y desigualdad) pero únicamente en un contexto de precios bajos de combustibles. La implementación de un impuesto a los combustibles fósiles en un contexto de precios altos resultará en mayores beneficios ambientales, pero con costos económicos y sociales importantes por lo que debe de considerarse el uso de estrategias de reciclaje fiscal.

Bibliografía

- Ahluwalia, M. S. (1976). Inequality, poverty and development. *Journal of development economics*, 3(4), 307-342.
- Akinlo, A. E. (2008). Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara African countries. *energy economics*, 30(5), 2391-2400.
- Alam, M.S. y Paramati, S.R. (2016). "The impact of tourism on income inequality in developing economies: Does Kuznets curve hypothesis exist?" *Annals of Tourism Research*, 61, 111-126.
- Andersen, M.S. y Ekins, P. (2009). *Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe*, Oxford University Press, Oxford.
- Apergis, N. y Payne, J.E. (2012). "The electricity consumption-growth nexus: renewable versus non-renewable electricity in Central America". *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(4), 423-431.
- Baek, J., & Gweisah, G. (2013). Does income inequality harm the environment?: Empirical evidence from the United States. *Energy Policy*, 62, 1434-1437.
- Barro, R. J. (2000). Inequality and Growth in a Panel of Countries. *Journal of economic growth*, 5(1), 5-32.
- Barroso, L. A., Rudnick, H., Sensfuss, F., & Linares, P. (2010). The green effect. *IEEE Power and energy magazine*, 8(5), 22-35.
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I. y Bhattacharya, S. (2016). "The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries". *Applied Energy*, 162, 733-741.
- Birol, F., & Keppler, J. H. (2000). Prices, technology development and the rebound effect. *Energy policy*, 28(6), 457-469.
- Borghesi, S. (2006). 2 Income inequality and the environmental Kuznets curve. *Environment, inequality and collective action*, 33.
- Bourguignon, F. (1994). Growth, distribution and human resources. *En Route to Modern Growth, Essays in Honor of Carlos Diaz-Alejandro*, 43-69.
- Bourguignon, F., & Morrisson, C. (1990). Income distribution, development and foreign trade: A cross-sectional analysis. *European Economic Review*, 34(6), 1113-1132.
- Boyce, J. K. (1994). Inequality as a cause of environmental degradation. *Ecological Economics*, 11(3), 169-178.
- Chancel, L. y Piketty, T. (2015). Carbon and Inequality: from Kyoto to Paris: trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) and prospects for an equitable adaptation fund. *Paris School of Economics*, Paris.
- Chen, K. H., Yang, H. Y., Lee, J. M., & Chi, C. F. (2016). The impact of energy prices on energy consumption and energy efficiency: evidence from Taiwan. *Energy Efficiency*, 9(6), 1329-1349.
- Chen, Z. Y., & Nie, P. Y. (2016). Effects of carbon tax on social welfare: A case study of China. *Applied Energy*, 183, 1607-1615.
- Chien, T., & Hu, J. L. (2007). Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy*, 35(7), 3606-3615.

- Chontanawat, J., Hunt, L. C., & Pierse, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 209-220.
- Clark, J. R., & Lawson, R. A. (2008). The impact of economic growth, tax policy and economic freedom on income inequality.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible*. Naciones Unidas, Chile.
- Cornillie, J., & Fankhauser, S. (2004). The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, 26(3), 283-295.
- Deininger, K., & Squire, L. (1997). Economic growth and income inequality: reexamining the links. *Finance and Development*, 34(1), 38.
- Deininger, K., & Squire, L. (1998). New ways of looking at old issues: inequality and growth. *Journal of development economics*, 57(2), 259-287.
- Eggoh, J. C., Bangaké, C., & Rault, C. (2011). Energy consumption and economic growth revisited in African countries. *Energy Policy*, 39(11), 7408-7421.
- Ekins, P. y Dresner, S. (2004). *Green taxes and charges: reducing their impact on low-income households*. Joseph Rowntree Foundation, York, UK.
- Espey, J. A., & Espey, M. (2004). Turning on the lights: A meta-analysis of residential electricity demand elasticities. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36(1), 65-81.
- Fang, G., Tian, L., Fu, M., & Sun, M. (2013). The impacts of carbon tax on energy intensity and economic growth—a dynamic evolution analysis on the case of China. *Applied energy*, 110, 17-28.
- Fang, Y. (2011). Economic welfare impacts from renewable energy consumption: the China experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5120-5128.
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., & Tao, Q. (2004). What is driving China's decline in energy intensity?. *Resource and Energy economics*, 26(1), 77-97.
- Fouquet, D. (2013). Policy instruments for renewable energy—From a European perspective. *Renewable Energy*, 49, 15-18.
- Fouquet, D., & Johansson, T. B. (2008). European renewable energy policy at crossroads—Focus on electricity support mechanisms. *Energy policy*, 36(11), 4079-4092.
- Galindo, L.M., Beltrán, A., Ferrer, J. y Alatorre, J.E. (2017). 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. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- Garbaccio, R., Ho, M. y Jorgenson, D. (1999). “Controlling Carbon Emissions in China”. *Environment and Development Economics*, 4, 493-518.
- Gillingham, K., Newell, R. G., & Palmer, K. (2009). Energy efficiency economics and policy. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 1(1), 597-620.
- 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*, 29, 271-297.
- Grafton, R. Q., Kompas, T., & Van Long, N. (2012). Substitution between biofuels and fossil fuels: Is there a green paradox?. *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(3), 328-341.
- Grunewald, N., Klasen, S., Martínez-Zarzoso, I., & Muris, C. (2017). The Trade-off Between Income Inequality and Carbon Dioxide Emissions. *Ecological Economics*, 142, 249-256.
- Gutierrez, L. (2003). “On the power of panel cointegration tests: A Monte Carlo comparison”. *Economic Letters*, 80(1), 105-111.
- Gyimah-Brempong, K. (2002). “Corruption, economic growth, and income inequality in Africa”. *Economics of Governance*, 3(3), 183-209.
- Halicioglu, F. (2009). “An econometric study of CO 2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey”. *Energy Policy*, 37(3), 1156-1164.
- Hang, L., & Tu, M. (2007). The impacts of energy prices on energy intensity: evidence from China. *Energy policy*, 35(5), 2978-2988.
- Heerink, N., Mulatu, A., & Bulte, E. (2001). Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*, 38(3), 359-367.
- Heil, M. T., & Selden, T. M. (1999). Panel stationarity with structural breaks: carbon emissions and GDP. *Applied Economics Letters*, 6(4), 223-225.
- Hinrichs-Rahlwes, R. (2013). Renewable energy: Paving the way towards sustainable energy security: Lessons learnt from Germany. *Renewable Energy*, 49, 10-14.

- Holtz-Eakin, D., & Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of public economics*, 57(1), 85-101.
- Huang, B. N., Hwang, M. J., & Yang, C. W. (2008). Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach. *Ecological economics*, 67(1), 41-54.
- Inglesì-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58-63.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015). *Synergies Between Renewable Energy and Energy Efficiency*. Working paper, IRENA, Abu Dhabi and C2E2, Copenhagen.
- Jha, S. K. (1996). The Kuznets curve: A reassessment. *World Development*, 24(4), 773-780.
- Jorgenson, A., Schor, J., Knight, K. y Huang, X. (2016). "Domestic Inequality and Carbon Emissions in Comparative Perspective". *Sociological Forum*, 31(S1), 770-786.
- Jorgenson, D. y Wilcoxon, P. (1993). "Reducing US carbon emissions: An econometric general equilibrium assessment". *Resource and Energy Economics*, 15, 7-25.
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of econometrics*, 90(1), 1-44.
- Kaplan, M., Ozturk, I., & Kalyoncu, H. (2011). Energy consumption and economic growth in Turkey: cointegration and causality analysis. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 2(31), 31-41.
- Kerkhof, A.C., Wiltng, H.C., Drissen, E. y Moll, H.C. (2008). "Taxation of multiple greenhouse gases and the effects on income distribution. A case study of the Netherlands". *Ecological Economics*, 67(2), 318-326.
- Kitzing, L., Mitchell, C., & Morthorst, P. E. (2012). Renewable energy policies in Europe: Converging or diverging?. *Energy Policy*, 51, 192-201.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Lee, C. C. (2006). The causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited. *Energy Policy*, 34(9), 1086-1093.
- Lim, J. y Kim, Y. (2012). "Combining Carbon Tax and R&D Subsidy for Climate Change Mitigation". *Energy Economics*, 34(S3), 496-502
- Lise, W., & Van Montfort, K. (2007). Energy consumption and GDP in Turkey: Is there a co-integration relationship?. *Energy Economics*, 29(6), 1166-1178.
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 631-652.
- Magnani, E. (2000). The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution. *Ecological Economics*, 32(3), 431-443.
- Mahmood, A. y Marpaung, C. (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*, 67, 87-103.
- McKibbin, W., Morris, A., Wilcoxon, P. y Cai, Y. (2015). "Carbon taxes and U.S. Fiscal Reform". *National Tax Journal*, 68(1), 139-159.
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: a random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257-263.
- Metcalf, G.E. (1999). "A Distributional Analysis of Green tax Reforms". *National Tax Journal*, 52(4), 655-681.
- Milanovic, B. (1995). Poverty, inequality, and social policy in transition economies.
- Nachtigall, D., & Rübbelke, D. (2016). The green paradox and learning-by-doing in the renewable energy sector. *Resource and Energy Economics*, 43, 74-92.
- Narayan, P. K., & Smyth, R. (2008). Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel cointegration with structural breaks. *Energy Economics*, 30(5), 2331-2341.
- Oshima, H. T. (1994). The impact of technological transformation on historical trends in income distribution of Asia and the West. *The Developing Economies*, 32(3), 237-255.
- Papanek, G. F., & Kyn, O. (1986). The effect on income distribution of development, the growth rate and economic strategy. *Journal of Development Economics*, 23(1), 55-65.
- Payne, J. E. (2011). US disaggregate fossil fuel consumption and real GDP: an empirical note. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 6(1), 63-68.
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 653-670.
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric theory*, 20(3), 597-625.

- Polak, B., & Williamson, J. G. (1991). Poverty, policy, and industrialization: lessons from the distant past (No. 645). The World Bank.
- Porter, M. (1991). "America's Green Strategy". *Scientific American*, 264(4), 168.
- Ravallion, M., Heil, M. y Jalan, J. (2000). "Carbon Emissions and Income Inequality". *Oxford Economic Papers*, 52(4), 651-669.
- Raza, S. A. y Shah, N. (2017). "Tourism growth and income inequality: does Kuznets Curve hypothesis exist in top tourist arrival countries". *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 1-11.
- Repetto, R., Dower, R., Jenkins, R. y Geoghegan, J. (1992). *Green Fees: How a Tax Shift Can Work for the Environment and the Economy*. World Resources Institute, US.
- Revelle, E. (2009). *Cap-and-Trade vs Carbon Tax: Two Approaches to Curbing Greenhouse Gas Emissions*. LWVUS Climate Change Task Force. Estados Unidos.
- Robinson, S. (1976). A note on the U hypothesis relating income inequality and economic development. *The American economic review*, 66(3), 437-440.
- Sadorsky, P. (2009a). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy policy*, 37(10), 4021-4028.
- Sadorsky, P. (2009b). Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456-462.
- Salim, R. A., & Rafiq, S. (2012). Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy?. *Energy Economics*, 34(4), 1051-1057.
- Scruggs, L. A. (1998). Political and economic inequality and the environment. *Ecological economics*, 26(3), 259-275.
- Sinn, H. W. (2008). Public policies against global warming: a supply side approach. *International Tax and Public Finance*, 15(4), 360-394.
- Sinn, H. W. (2012). *The green paradox: a supply-side approach to global warming*. MIT press.
- Solt, F. (2016). The standardized world income inequality database. *Social science quarterly*, 97(5), 1267-1281.
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62(3), 482-489.
- Tietenberg, T. (1990). "Economic Instruments for Environmental Regulation". *Oxford Review of Economic Policy*, 6(1), 17-33.
- Timilsina, G. R., Csordás, S., & Mevel, S. (2011). When does a carbon tax on fossil fuels stimulate biofuels?. *Ecological Economics*, 70(12), 2400-2415.
- Tiwari, A. K. (2011). A structural VAR analysis of renewable energy consumption, real GDP and CO₂ emissions: evidence from India. *Economics Bulletin*, 31(2), 1793-1806.
- Tiwari, A. K. (2011). Comparative performance of renewable and nonrenewable energy source on economic growth and CO₂ emissions of Europe and Eurasian countries: A PVAR approach. *Economics Bulletin*, 31(3), 2356-2372.
- Torras, M., & Boyce, J. K. (1998). Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve. *Ecological economics*, 25(2), 147-160.
- Tugcu, C. T., Ozturk, I., & Aslan, A. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: evidence from G7 countries. *Energy economics*, 34(6), 1942-1950.
- Tükenmez, M., & Demireli, E. (2012). Renewable energy policy in Turkey with the new legal regulations. *Renewable Energy*, 39(1), 1-9.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2016). *Renewable Energy and Energy Efficiency In developing Countries: Contributions to Reducing Global Emissions*. UNEP, Kenya.
- Van der Meijden, G., & Withagen, C. (2016). *Limit Pricing, Climate Policies, and Imperfect Substitution*.
- Van der Meijden, G., Van der Ploeg, F., & Withagen, C. (2015). International capital markets, oil producers and the green paradox. *European Economic Review*, 76, 275-297.
- Van der Ploeg, F., & Withagen, C. (2012). Is there really a Green Paradox? *Journal of Environmental Economics and Management*, 64(3), 342-363.
- Wier, M., Klok, J., Jacobsen, H. y Birr-Pedersen, K. (2005). "Are CO₂ taxes regressive? Evidence from the Danish experience". *Ecological Economics*, 52(2), 239-251.
- Wilkinson, R., & Pickett, K. (2010). *The spirit level: Why equality is better for everyone*. Penguin UK.
- Wiser, R., Namovicz, C., Gielecki, M., & Smith, R. (2007). The experience with renewable portfolio standards in the United States. *The Electricity Journal*, 20(4), 8-20.
- Wolde-Rufael, Y. y Idowu, S. (2017). "Income distribution and CO₂ emission: A comparative analysis for China and India". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1336-1345.

Anexo

Cuadro A. 1
Pruebas de raíz unitaria

Variable	LLC			IPS			ADF-Fisher		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<i>Variables dependientes</i>									
<i>re_{it}</i>	-1,82 (3)*	-0,36 (4)	5,72 (3)	-1,28 (3)	0,64 (4)		46,79 (3)	36,91 (4)	5,79 (3)
Δre_{it}	-12,52 (3)*	-14,89 (3)*	-15,97 (0)*	-11,90 (3)*	-14,11 (3)*		174,08 (3)*	223,57 (3)*	268,02 (2)*
<i>ie_{it}</i>	-1,50 (2)	-0,20 (2)	-4,10 (2)*	-1,37 (2)	0,71 (2)		44,23 (2)	35,46 (1)	66,41 (2)*
Δie_{it}	-11,41 (2)*	-13,99 (1)*	-15,37 (2)*	-10,92 (2)*	-13,60 (1)*		157,67 (2)*	213,03 (1)*	266,49 (2)*
<i>pit_{it}</i>	0,63 (3)	1,66 (2)	12,82 (2)	1,49 (3)	6,13 (2)		26,51 (3)	12,85 (2)	1,10 (2)
Δpit_{it}	-10,80 (1)*	-10,61 (1)*	-8,90 (2)*	-7,71 (1)*	-9,62 (1)*		113,11 (1)*	148,82 (1)*	150,07 (2)*
<i>gini_{it}</i>	-5,79 (3)*	-0,58 (3)	-1,04 (3)	-2,15 (3)*	-0,71 (3)		40,83 (3)	45,64 (3)	27,06 (3)
$\Delta gini_{it}$	-2,71 (3)*	-3,07 (2)*	-7,73 (4)*	-5,69 (3)*	-3,89 (2)*		91,86 (3)*	68,33 (2)*	119,03 (4)*
<i>co2_{it}</i>	-1,20 (2)	2,57 (2)	1,18 (2)	-0,87 (2)	-1,67 (2)*		42,43 (2)	22,91 (2)	49,68 (2)*
$\Delta co2_{it}$	-15,37 (2)*	-15,44 (2)*	-17,77 (1)*	-14,77 (2)*	-14,96 (2)*		211,48 (2)*	238,58 (2)*	319,30 (1)*
<i>Variables independientes</i>									
<i>pr_{it}</i>	-1,75 (2)	-2,74 (4)	-1,35 (4)	-2,30 (2)	-4,90 (4)		50,68 (2)	123,51 (4)*	42,88 (4)
Δpr_{it}	-10,62 (3)*	-9,63 (3)*	-12,20 (4)*	-6,69 (3)*	-7,93 (3)*		114,81 (3)*	123,28 (3)*	206,80 (4)*

Cuadro A.1 (continuación)

Variable	LLC			IPS			ADF-Fisher			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Variable	LLC			IPS			ADF-Fisher			
Δmore_{it}	-11,84 (3) *	-13,92 (2) *	-11,42 (2) *	-11,47 (3) *	-12,54 (2) *	32,72 (3)	169,29 (3) *	201,35 (2) *	36,20 (2)	175,68 (2) *
fbc_{fit}	-2,02 (3) *	-1,07 (4)	9,04 (2)	-0,35 (3)	2,03 (4)	40,98 (3)	20,94 (4)	20,94 (4)	1,66 (2)	
Δfbc_{fit}	-9,82 (3) *	-12,28 (1) *	-11,47 (4) *	-5,57 (3) *	-9,55 (1) *	119,71 (3) *	160,04 (1) *	187,20 (4) *		
ft_{it}	0,61 (3)	-4,52 (4)	18,48 (3)	2,28 (3)	0,73 (4)	27,40 (3)	35,46 (4)	1,77 (3)		
Δft_{it}	-8,68 (2) *	-6,53 (3) *	-2,74 (4) *	-8,13 (2) *	-6,44 (3) *	122,43 (2) *	113,99 (3) *	79,52 (4) *		
gob_{it}	0,67 (3)	3,79 (4)	9,38 (3)	2,56 (3)	5,03 (4)	30,26 (3)	11,62 (4)	1,71 (3)		
Δgob_{it}	-9,31 (3) *	-7,36 (3) *	-8,50 (4) *	-8,42 (3) *	-7,17 (3) *	126,66 (3) *	121,13 (3) *	144,61 (4) *		
ied_{it}	-1,28 (2)	-2,24 (3)	2,99 (4)	-1,14 (2)	-3,97 (3)	76,22 (2)	8,46 (3)	8,80 (4)		
Δied_{it}	-18,42 (1) *	-19,37 (2) *	-22,63 (2) *	-17,24 (1) *	-17,38 (2) *	240,07 (1) *	291,65 (2) *	354,23 (2) *		
$aper_{it}$	-1,46 (1)	-1,69 (2)	2,73 (2)	-0,51 (1)	-0,38 (2)	36,99 (1)	36,67 (2)	6,95 (2)		
$\Delta aper_{it}$	-11,85 (3) *	-15,37 (1) *	-18,24 (0) *	-11,11 (3) *	-13,74 (1) *	161,00 (3) *	214,78 (1) *	312,08 (0) *		
$ener_{it}$	-0,10 (3)	0,37 (4)	5,17 (1)	-0,08 (3)	2,76 (4)	34,13 (3)	17,19 (4)	3,42 (1)		

Cuadro A.1 (conclusión)

Variable	LLC			IPS			ADF-Fisher		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Variable	LLC	IPS	ADF-Fisher						
$\Delta ener_{it}$	-15,51 (1) *	-17,64 (1) *	-17,78 (1) *	-14,82 (1) *	-16,59 (1) *	-17,78 (1) *	220,16 (1) *	301,50 (1) *	267,36 (1) *
$prob_{it}$	-0,42 (3)	-3,79 (4)	5,68 (4)	-0,62 (3)	-0,09 (4)	7,65 (3)	7,65 (3)	51,81 (4) *	20,89 (4)
$\Delta prob_{it}$	-2,02 (2) *	-4,99 (2) *	-6,22 (2) *	-2,50 (2) *	-1,88 (2) *	55,82 (2) *	55,82 (2) *	78,75 (2) *	96,68 (2) *

Nota: Panel no balanceado. Período 1993-2012. Los valores en la tabla se refieren al estadístico relevante para cada prueba de los logaritmos naturales de las variables. Los valores en paréntesis corresponden al número óptimo de rezagos basados en el criterio de información de Schwarz. Todas las pruebas asumen como hipótesis nula la presencia de raíz unitaria. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia de 5%. Modelo A: intercepción individual y tendencia determinística. Modelo B: intercepción individual. Modelo C: sin intercepción. 1 Se refiere al estadístico Chi cuadrada de la prueba Dickey-Fuller Aumentada(ADF).

Cuadro A.2
Pruebas de cointegración de panel

Prueba de cointegración	<i>re_{it}</i>		Variable dependiente		<i>ie_{it}</i>		<i>pib_{it}</i>	
	Estadísticas	Probabilidad	Estadística	Probabilidad	Estadística	Probabilidad	Estadística	Probabilidad
Pedroni (1999, 2004)								
Whithin group								
Panel v	-0,080	0,532	-1,022	0,847	-0,836	0,798		
Panel rho	0,826	0,795	0,859	0,805	3,278	0,999		
Panel PP	-0,019	0,492	-0,162	0,436	-2,874***	0,002		
Panel ADF	-1,111	0,133	-1,946**	0,026	-4,584***	0,000		
Between group								
Group rho	0,981	0,837	1,907	0,917	4,835	1,000		
Group PP	-2,114**	0,017	-0,604	0,273	-6,615***	0,000		
Group ADF	-3,547***	0,000	-3,470***	0,000	-5,915***	0,000		
Kao (1999)								
ADF Statistic	-0,782	0,217	-0,151	0,439	-6,567***	0,000		
Maddala y Wu (1999)								
H ⁰	-Trace rank test	Probabilidad	-Trace rank test	Probabilidad	-Trace rank test	Probabilidad	-Trace rank test	Probabilidad
None	131,9***	0,000	109,6***	0,000	131,2***	0,000	32,28***	0,027
At most 1	85,25***	0,000	75,03***	0,000	65,38*	0,061	151,5**	0,007
At most 2	61,00	0,253	61,00	0,382	55,13	0,412	202,6	0,342
At most 3					404,7	0,000	251,0	0,758
At most 4					217,6	0,000	147,1	0,435

Cuadro A.2 (Conclusión)

Prueba de cointegración	Variable dependiente			
	<i>gini_{it}</i>		<i>co2_{it}</i>	
Pedroni (1999, 2004)	Estadística	Probabilidad	Estadística	Probabilidad
Whitlin group				
Panel v	-0,638	0,738	-2,467	0,993
Panel rho	2,697	0,996	1,711	0,957
Panel PP	0,940	0,826	-10,826***	0,000
Panel ADF	0,727	0,766	-7,400***	0,000
Between group				
Group rho	4,279	1,000	4,772	1,000
Group PP	1,619	0,947	-12,392***	0,000
Group ADF	-0,617	0,269	-7,490***	0,000
Kao (1999)				
ADF Statistic	Estadística	Probabilidad	Estadística	Probabilidad
	-1,238	0,108	1,711**	0,044
Maddala y Wu (1999)				
H0	-Trace rank test	Probabilidad	-Trace rank test	Probabilidad
None	426,7***	0,000	22,18***	0,000
At most 1	284,8***	0,000	20,79*	0,178
At most 2	410,8***	0,000	15,25	0,452
At most 3	78,76***	0,343	4,16	0,238
At most 4	64,83***	0,687	294,70***	0,320

Nota: Los valores en la tabla refieren a los estadísticos relevantes correspondientes a las respectivas pruebas de cointegración para datos panel. (***) (***) y (*) indican rechazo de la hipótesis nula al 1%, 5% y 10% de nivel de significancia, respectivamente. Pedroni (1999, 2004) y Kao (1999) prueban la hipótesis nula de no cointegración. La hipótesis nula de Maddala y Wu (1999) se encuentra especificada en la tabla. Panel no-balanceado. Periodo 1993-2012 para i= 17 economía de América Latina. Todas las variables corresponden al logaritmo natural de las series. Todas las pruebas se estiman con intercepto y sin tendencia determinística.



Este documento tiene como objetivo analizar los efectos potenciales de un impuesto al carbono sobre un conjunto de variables relevantes para el cumplimiento de las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en América Latina. De acuerdo con los resultados del análisis, en un contexto caracterizado por el bajo precio de los combustibles, la implementación en América Latina de un impuesto ambiental —también denominado “verde”— se traduciría en un incremento del consumo de energías renovables, un descenso de la intensidad energética, un aumento del PIB per cápita y una disminución de la desigualdad.