



Universidad Nacional Autónoma de México

Programa de Posgrado en Economía - División de
Estudios de Posgrado de la Facultad de Economía

Efectos distributivos a nivel hogar del Sistema de Comercio de Emisiones en México

T E S I S

que para optar por el grado de

Maestro en Economía

PRESENTA:

Oscar García Cervantes

Tutor:

Dr. Luis Miguel A. Galindo Paliza, Posgrado Facultad de Economía UNAM

Miembros del jurado:

Mtra. Karina Caballero Güendulain, Posgrado Facultad de Economía UNAM

Dra. Véronique Sophie Ávila Foucat, Instituto de Investigaciones Económicas UNAM

Dr. Saúl Basurto Hernández, Posgrado Facultad de Economía UNAM

Dr. Antonio Lloret Carrillo, Centro de Energía y Recursos Naturales ITAM

México, Ciudad de México. Junio 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos institucionales

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de posgrado.

Esta investigación fue realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IA303221 Impacto del cambio climático en la producción de alimentos en México.

Efectos distributivos a nivel hogar del Sistema de Comercio de Emisiones en México

Índice

Resumen	2
Abstract	2
Introducción	3
1. Contexto y revisión de la literatura	9
1.1. Política ambiental en México: Precio al carbono	9
1.2. Efectos distributivos del precio al carbono	11
2. Metodología y datos	18
2.1. Análisis de insumo-producto y efecto del precio al carbono	18
2.2. Efecto en el bienestar de los hogares	20
2.3. Datos	21
3. Resultados y discusión	24
3.1. Patrones de consumo y de emisiones de GEI por hogar	24
3.2. Efecto del precio al carbono sobre el bienestar de los hogares	27
3.3. Discusión	35
4. Conclusiones e implicaciones de política pública	37
Anexos	40
Anexo 1	40
Anexo 2	41
Referencias	44

Resumen

El objetivo de esta tesis es analizar la hipótesis de que el precio al carbono tiene efectos positivos en el control de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, pero puede generar efectos negativos en la distribución del ingreso. Se examina cómo la imposición exógena de un precio al carbono en México, a través del Sistema de Comercio de Emisiones (SCE), incide en las canastas de consumo de los hogares. Se utiliza la metodología de insumo-producto combinada con la información de los inventarios nacionales de emisiones y la encuesta de ingreso-gasto de los hogares para obtener las cargas de carbono adicionales sobre el consumo de los hogares mexicanos. Los resultados muestran que la imposición del precio al carbono, tal como lo contempla el SCE, genera efectos regresivos sobre la distribución del ingreso ante la falta de mecanismos de compensación. Los efectos distributivos se desagregan por entidad federativa y se observa que en general, la región sur y centro presentan la mayor regresividad, no obstante, todas las entidades muestran efectos regresivos.

Abstract

The objective of this thesis is to analyze the hypothesis that the carbon price has positive effects on the control of Greenhouse Gas emissions, but it can generate negative effects on income distribution. It examines how the exogenous imposition of a carbon price in Mexico, through the Emissions Trading System (ETS), affects household consumption baskets. The input-output methodology combined with information from national emissions inventories and the household income-expenditure survey is applied to obtain carbon burdens on Mexican household consumption. The results show that the imposition of the carbon price, as contemplated by the ETS, generates regressive effects on income distribution in the absence of compensation mechanisms. The distributive effects are disaggregated by states and it is observed that, in general, the southern and central regions present the greatest regressiveness, however, all the states show regressive effects.

Introducción

El desafío del cambio climático está lleno de asimetrías y representa uno de los más grandes retos que enfrenta la sociedad moderna, sus efectos tienen alcance global y su principal origen se encuentra en el acelerado ritmo de crecimiento y desarrollo de las actividades humanas.

En las ciencias naturales existe un claro consenso respecto a que las alteraciones del clima¹ alrededor del mundo se deben al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)² generadas por la actividad humana, principalmente a partir de la revolución industrial (Cook et al., 2013; Manabe & Broccoli, 2020; Molina et al., 2017; Nordhaus, 2008, 2013).

Existen cambios en el sistema climático, que tienen un origen natural, estos dependen de los cambios en la inclinación de la tierra y fenómenos como las erupciones volcánicas, en el primer caso son cambios que suceden en periodos aproximados de 40 mil y 100 mil años, mientras que los segundos, sus efectos tienen una corta duración sobre el clima global (Molina et al., 2017). No obstante, los cambios en el sistema climático, como el aumento de la temperatura de la superficie y la distribución de la precipitación, que se han acelerado durante las últimas décadas, y que tienen origen antropogénico,³ convencionalmente se refieren como “cambio climático” (Molina et al., 2017).

Manabe & Broccoli (2020) indican que la concentración atmosférica de dióxido de carbono ha aumentado en más del 40 por ciento respecto con la época preindustrial, primordialmente por el consumo de combustibles fósiles utilizados en la generación de energía y por el cambio de uso de suelo.

De acuerdo con el Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC’s AR6 por sus siglas en inglés) los aumentos observados en las concentraciones de GEI desde alrededor de 1750 son causados inequívocamente por actividades humanas. El

¹Es necesario mencionar que existen diferencias entre lo que llamamos ‘tiempo’ y el ‘clima’ de un lugar (en inglés la diferencia es entre ‘weather’ y ‘climate’). El tiempo se refiere a las condiciones de la atmósfera durante periodos de tiempo relativamente largos, de décadas o siglos. El clima es el estado de las condiciones promedio del sistema atmósfera-océano-tierra (Molina et al., 2017).

²Los principales gases de efecto invernadero son: vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC).

³Antropogénico significa perteneciente o relativo a lo que procede de los seres humanos que, en particular, tiene efectos sobre la naturaleza.

AR6 indica que cada una de las últimas cuatro décadas ha sido sucesivamente más cálida que cualquier década que la precedió desde 1850. La temperatura global de la superficie durante 2001 a 2020 fue 0.99°C (con desviación entre 0.84°C y 1.10°C) más alta que la de del periodo 1850 a 1900⁴; respecto al mismo periodo durante 2011 a 2020 fue 1.09°C (con desviación entre 0.95°C y 1.20°C) más alta, estos resultados se revisaron al alza respecto a lo estimado por el IPCC en el AR5 publicado en 2014 (IPCC, 2021).

El cambio climático generado por los humanos tiene como consecuencia que se hayan incrementado los eventos climáticos extremos desde la década de 1950. Esto incluye aumentos en la frecuencia de olas de calor y sequías concurrentes a escala global; aumentos en la temporada de incendios en algunas regiones de todos los continentes; e inundaciones compuestas en algunos lugares (IPCC, 2021).

El informe del IPCC (2021) evalúa distintos posibles escenarios: emisiones altas y muy altas de GEI y emisiones de CO_2 que duplican los niveles actuales para 2100 y 2050, respectivamente; escenarios con emisiones de GEI medias y emisiones de CO_2 que se mantienen alrededor de los niveles actuales hasta mediados del siglo; y escenarios con emisiones muy bajas y bajas de GEI y emisiones de CO_2 que disminuyen a cero neto alrededor o después de 2050, seguidas de niveles variables de emisiones de CO_2 negativas netas.⁵

Con los escenarios mencionados, el IPCC estima que la temperatura global de la superficie seguirá aumentando hasta al menos mediados de siglo en todos los escenarios de emisiones considerados. El calentamiento global de 1.5°C a 2°C se superará durante el siglo XXI a menos que se produzcan reducciones profundas de emisiones de CO_2 y otros GEI en las próximas décadas (IPCC, 2021).

Desde la economía el estudio del cambio climático es relevante porque existe una relación bidireccional entre el producto de la economía y su variación (medido normalmente a través del Producto Interno Bruto (PIB)) y el incremento de la temperatura.

⁴El periodo de 1850 a 1900 se utiliza como aproximación a las condiciones preindustriales, además representa el periodo más temprano de observaciones a nivel mundial suficientes para estimar la temperatura global de la superficie (IPCC, 2021).

⁵Las emisiones varían entre escenarios según los supuestos socioeconómicos, los niveles de mitigación del cambio climático y, para los aerosoles y precursores del ozono distintos del metano, los controles de la contaminación del aire.

Por un lado, las personas, empresas y gobiernos a través de sus decisiones de consumo y producción diarias hacen uso de energía, mayormente generada con combustibles fósiles⁶ que producen emisiones de CO_2 y otros GEI, estas emisiones se acumulan en la atmosfera. Una mayor acumulación de GEI genera que el calor se quede atrapado y provoque el calentamiento global, este proceso da como resultado el cambio climático (Molina et al., 2017; Nordhaus, 2013; Stern, 2008).

De acuerdo con Nicholas Stern (2008, p. 1) “las emisiones de gases de efecto invernadero son externalidades y representan la falla de mercado más grande que el mundo ha visto”. Una externalidad ocurre cuando la acción de un agente económico (persona, empresa, gobierno) tiene algún impacto en otro agente, y este impacto no se refleja en los costos asumidos por el primer agente. El impacto puede ser benéfico (externalidad positiva) o dañino, como en el caso del cambio climático (externalidad negativa).

La generalidad de las externalidades es que el precio del bien o servicio es erróneo, es decir, el precio no refleja el verdadero costo social (Nordhaus, 2021), en el caso de externalidades dañinas, como las generadas por las emisiones de CO_2 y otros GEI, los mercados no regulados producen en exceso porque los mercados no establecen un precio a los daños externos de las emisiones (Nordhaus, 2013).

El cambio climático es una externalidad diferente a los ejemplos usuales: sus fuentes e impactos se desarrollan a escala mundial, los efectos de la externalidad son intergeneracionales, además, son de largo plazo y las potenciales afectaciones pueden ser irreversibles. Las externalidades globales plantean grandes dificultades porque no existe un mercado o mecanismo gubernamental viable para tratar con ellas, esto por la ausencia de un gobierno mundial o por la dificultad de llegar a acuerdos internacionales para atender de manera efectiva este tipo de externalidades que afectan a todos, todas, todos y que son responsabilidad de todos, todas, todos, tanto su origen como su solución (Nordhaus, 2011, 2008, 2013; Stern, 2008).

Por otro lado, el cambio climático puede afectar el desempeño económico a nivel global

⁶De acuerdo con datos del Panorama Energético de British Petroleum 2020, durante 2018 el 84.6 por ciento de la energía mundial se produjo con combustibles fósiles (33.1 por ciento con petróleo, 27.4 por ciento con carbón, y 24.1 por ciento con gas natural), mientras que el 15.4 por ciento restante fue producido mediante energías hidrológica, renovables y nuclear con el 6.5, 4.7 y 4.2 por ciento respectivamente.

a través de cambios en la productividad agrícola, reducciones en la productividad laboral durante temporadas de altas temperaturas, desincentiva inversiones por eventos climáticos extremos, incremento de costos relacionados con la infraestructura necesaria para estabilizar la temperatura (e.g. aire acondicionado), cambios en los precios de materias primas, entre otros canales de transmisión (Dell et al., 2012, 2014; Kahn et al., 2021; Metcalf, 2019).

Diseñar una estrategia efectiva para reducir las emisiones de GEI y controlar el cambio climático requiere la conjunción de las ciencias naturales con las sociales. William Nordhaus (2013) indica que a pesar de que el entendimiento del proceso de cambio climático puede considerarse una cuestión de las ciencias naturales, su solución está primordialmente en el ámbito de las ciencias sociales. Una interrogante de gran relevancia para la ciencia económica, en relación con las políticas necesarias para hacer frente al cambio climático, se refiere al diseño de mecanismos que pueden implementarse para lograr la reducción de emisiones de GEI deseada al menor costo posible.

Dentro de la literatura económica existen distintos instrumentos de política ambiental: instrumentos de comando y control; enfoques institucionales para facilitar la internalización de externalidades; y los instrumentos de incentivos económicos o instrumentos de mercado (Perman et al., 2011). Los instrumentos de comando y control y los institucionales presentan poca flexibilidad hacia los agentes económicos al momento de buscar alcanzar una meta ambiental, lo que incrementa los costos de abatimiento; mientras que los instrumentos de mercado buscan mediante incentivos y mayor flexibilidad que los agentes cambien su comportamiento (Goulder & Parry, 2008; Hahn & Stavins, 1992).

Robert Stavins (2007) menciona que existe un consenso entre economistas y analistas de política pública de que un instrumento basado en el mercado dirigido a mitigar las emisiones de GEI tiene que ser un elemento central de cualquier política ambiental nacional. Uno de los instrumentos de mercado más importantes en el contexto del cambio climático es el establecimiento de un precio al carbono. Este incrementa los precios relativos de los bienes intensivos en carbono y reduce el precio relativo de aquellos bienes bajos en carbono, cambiando la tendencia de las emisiones de CO_2 y otros GEI (González & Labandeira, 2008; Nordhaus, 2011, 2008, 2013; Stiglitz, 2019).

El precio al carbono actúa primordialmente a través de tres canales: primero, proporciona señales a los consumidores sobre los bienes y servicios que son intensivos en carbono y que deberían utilizarse con más moderación; segundo, provee información a los productores sobre cuáles insumos son intensivos en carbono y cuáles no, incentivando el uso de tecnologías bajas en carbono al buscar disminuir sus costos e incrementar sus beneficios; y tercero, los altos precios al carbono proporcionan señales al mercado e incentivos financieros a inversionistas e innovadores para desarrollar productos y procesos bajos en carbono, que permitan sustituir las tecnologías intensivas en carbono (Nordhaus, 2011, 2013; Stiglitz, 2019).

Actualmente se consideran dos políticas principales para el establecimiento de un precio al carbono: los impuestos al carbono, conocidos en la teoría económica como impuestos pigouvianos; o la configuración de mercados de permisos transferibles, también conocidos como sistemas de comercio de emisiones (SCE), sistemas de *cap-and-trade* (C&T) o mercados de carbono.

A nivel mundial se encuentran en operación 65 instrumentos de fijación de precio al carbono y 3 en consideración. Estos regulan el 21.6 por ciento de las emisiones globales de GEI; existen 35 mecanismos de impuesto al carbono (5.5 por ciento de las emisiones globales de GEI) y 30 esquemas de C&T (16.1 por ciento de las emisiones globales de GEI) (World Bank, 2021).

A pesar de que el precio al carbono es una de las políticas predilectas por los economistas para regular las emisiones de CO_2 y otros GEI, esta puede generar efectos adversos en la distribución del ingreso de los hogares y las empresas (Fremstad & Paul, 2017). Para que la política ambiental pueda ser socialmente aceptada tiene que considerar los efectos distributivos y plantear mecanismos que permitan transicionar a una economía baja en carbono de manera justa.

Existen dos canales de transmisión del precio al carbono a la distribución. Por un lado, los impactos *source-side*, que reflejan como las políticas afectan los salarios, el capital y el ingreso por transferencias. Por otro lado, los impactos *use-side*, que revelan como las políticas cambian los precios de los bienes y servicios comprados por los hogares (Gao et al., 2020; Goulder et al., 2019).

Como parte de las políticas ambientales consideradas por el Gobierno de México para cumplir con las metas de reducción de emisiones de GEI del Acuerdo de París, a partir del 1 de enero de 2020 inició en México la fase piloto del Sistema de Comercio de Emisiones, misma que terminó el 31 de diciembre de 2022 y en teoría iniciaría su etapa de operación en enero de 2023.

La implementación del SCE puede imponer costos de mitigación significativos a los hogares mexicanos, sin embargo, existe poco conocimiento sobre cómo se distribuirán estos costos entre los distintos grupos de ingresos de la sociedad.

La hipótesis de esta tesis es que el precio al carbono tiene efectos positivos en el control de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, sin embargo, tiene potenciales efectos regresivos en la distribución del ingreso de los hogares mexicanos. El principal objetivo de esta investigación consiste en proporcionar una estimación de la incidencia del precio al carbono, a través del SCE, en el consumo final de los hogares mexicanos y mostrar cómo los efectos son diferenciados entre distintos grupos de ingreso, dadas las características del sistema de C&T propuesto.

La investigación se divide en cinco apartados, partiendo con la presente introducción. El segundo presenta el contexto institucional para la implementación del SCE en México, así como la revisión de la literatura que analiza las asimetrías del fenómeno del cambio climático y que plantea la necesidad de una transición justa hacia una economía menos intensiva en la generación de contaminantes, así mismo, se revisa la literatura previa que estudia los efectos distributivos de la imposición de un precio al carbono. El tercero desarrolla la metodología de esta investigación que consiste en la utilización del método de insumo-producto para estimar las intensidades de carbono de los sectores de la actividad económica y así poder calcular la carga adicional por hogar del establecimiento de un precio exógeno al carbono. El cuarto apartado presenta los resultados de las microsimulaciones para analizar los efectos distributivos en los hogares, se presentan resultados a nivel nacional y desagregados por entidad federativa, además, se presenta una breve discusión sobre los resultados obtenidos, desde sus alcances hasta sus limitaciones. El último apartado presenta las conclusiones e implicaciones de política pública.

1. Contexto y revisión de la literatura

Este capítulo primero expone el marco institucional de la implementación del precio al carbono en México a través del Sistema de Comercio de Emisiones; después, presenta la literatura que relaciona el cambio climático y la política ambiental con aspectos sociales, planteando la necesidad de realizar la transición hacia una economía menos intensiva en la generación GEI y otros contaminantes de manera justa; por último, presenta la literatura previa que estima los efectos distributivos del precio al carbono a nivel hogar, tanto por el mecanismo de impuestos al carbono, como en el caso de esta investigación, a través de mecanismos de C&T.

1.1. Política ambiental en México: Precio al carbono

Como parte del esfuerzo mundial para mantener el incremento de la temperatura a nivel global por debajo de los 2°C y hacer el esfuerzo adicional para lograr un incremento menor a 1.5°C, el Gobierno de México convino en el Acuerdo de París firmado en 2016 a través de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) reducir de manera no condicionada el 35 por ciento de las emisiones de GEI y 51 por ciento de las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (business-as-usual, BAU), y de manera condicionada reducir hasta el 40 por ciento de GEI y 70 por ciento las emisiones de carbono negro respecto al escenario tendencial al mismo año (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022).

En la actualización de la NDC publicada en el año 2020 se establece que México ha avanzado en la implementación de diversos instrumentos de mercado como la emisión de bonos verdes, el establecimiento de un impuesto al carbono y la planeación de un Sistema de Comercio de Emisiones (Gobierno de México & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). De acuerdo con la Ley General de Cambio Climático (LGCC) el establecimiento del SCE tiene como objetivo “promover reducciones de emisiones que puedan llevarse a cabo con el menor costo posible, de forma medible, reportable y verificable, sin vulnerar la competitividad de los sectores participantes frente a los mercados internacionales” (DOF, 2020).

El SCE en México inició con una etapa piloto que busca dar a conocer el comportamiento de un mercado de emisiones a los actores involucrados, esta etapa inició el 1 de enero de 2020 y finalizó el 31 de diciembre del año 2022, durante esta etapa participarían aproximadamente 200 empresas (DOF, 2019; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). Durante cada uno de los tres años de implementación del programa piloto el tope de emisiones y la cantidad de derechos de emisión están determinados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con base en la información histórica reportada por los participantes al Registro Nacional de Emisiones (RENE), la Contribución Determinada a Nivel Nacional de México, y las metas sectoriales establecidas en el Artículo Segundo Transitorio de la LGCC, además de que el tope tiene que considerar las metas de reducción de emisiones y compromisos internacionales de mitigación del país (DOF, 2019).

En el SCE mexicano tienen que participar de manera obligatoria las instalaciones cuyas emisiones anuales sean iguales o mayores a 100 mil toneladas de emisiones directas de dióxido de carbono y que pertenecen a los sectores de explotación, producción, transporte y distribución de hidrocarburos; generación, transmisión y distribución de electricidad; y las siguientes industrias: automotriz, cementera y calera, química, alimentos y bebidas, vidrio, siderúrgica, metalúrgica, minera, petroquímica, celulosa y papel, y otros subsectores industriales que generen emisiones directas provenientes de fuentes fijas (DOF, 2019; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) durante 2019 las emisiones de GEI fueron de 736.63 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Las actividades de reforestación y la permanencia de tierras forestales, de cultivo o praderas generaron una absorción de 201.94 millones de toneladas de CO_2e , dejando un balance de emisiones netas de 534.69 millones de toneladas de CO_2e .

El sector de mayor generación de emisiones es el de energía con el 64 por ciento de las emisiones totales; seguido de los sectores de agricultura, sector forestal y cambio de uso de suelo; los sectores de procesos industriales y uso de productos; y por último el sector de residuos, los cuales aportan el 19, 10 y 7 por ciento, respectivamente. Dentro del sector

de energía, las industrias de la energía aportan el 28 por ciento del total de emisiones; el transporte aporta el 20 por ciento; las industrias manufactureras y de la construcción el 7 por ciento; y otros sectores aportan el 5 por ciento (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2021).

El SCE mexicano contempla los sectores económicos que generan más emisiones de GEI por lo que podemos considerar que la política en materia ambiental procura la reducción de emisiones y así contribuir a mitigar el cambio climático. Sin embargo, considerar estos sectores plantea riesgos en materia de distribución del ingreso, sobretodo si no existen mecanismos de compensación.

1.2. Efectos distributivos del precio al carbono

A pesar de que el cambio climático se genera a través de todas las acciones de consumo y producción y es difícil argumentar que no es responsabilidad de toda la sociedad humana, es necesario entender que esta responsabilidad es diferenciada entre los países y entre los individuos de distintos niveles de ingreso y gasto. Asimismo, la política ambiental tiene efectos diferenciados entre los distintos estratos sociales, esta tiene que considerar en su diseño e implementación los potenciales impactos en la distribución del ingreso bajo una lógica de justicia social y ambiental.

Lucas Chancel (2020) plantea la existencia de cinco formas de desigualdades ambientales: 1) acceso desigual a los recursos naturales; 2) exposición desigual a las perturbaciones ambientales; 3) responsabilidad desigual por la degradación de los recursos naturales; 4) voz desigual en las decisiones relativas al manejo de los recursos naturales; y 5) exposición desigual a los efectos de la política de protección ambiental. La presente investigación se enfoca en la última desigualdad.

En toda política pública existen ganadores y perdedores, el precio al carbono no es la excepción. De acuerdo con Stiglitz (2019), cada uno de los cambios en los precios, las regulaciones y las inversiones gubernamentales pueden tener grandes impactos redistributivos. Además, indica que pueden existir costos asociados para los gobiernos para deshacer los efectos distributivos, por lo que tienen que considerarse desde el diseño de la política.

Considerar los efectos distributivos del cambio climático y de la política ambiental es fundamental para ampliar la aceptación social de la acción climática y lograr una transición justa hacia economías menos intensivas en la generación emisiones de GEI y otros contaminantes. La Organización Mundial del Trabajo plantea que para tener una transición justa se tienen que maximizar las oportunidades sociales y económicas de la acción climática minimizando las afectaciones a los grupos sociales, fomentando un diálogo continuo entre los trabajadores, comunidades y empresas (OIT, 2021; UNDP, 2022).

Esto se vuelve relevante en economías tan desiguales como la mexicana. La acción climática al considerar aspectos socioeconómicos, no sólo permite que la política ambiental tenga mayor aceptación social, también contribuye a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (UNDP, 2022).

Al respecto, el IPCC (2022) indica que donde se han implementado instrumentos de fijación de precio al carbono estos han incentivado medidas de bajo costo para reducir emisiones, y que los impactos distributivos y de equidad pueden abordarse mediante el uso de los ingresos generados por los impuestos al carbono o por el comercio de emisiones para apoyar a los hogares de bajos ingresos.

James Boyce (2022) menciona que para promover la justicia ambiental el precio al carbono tiene que ser efectivo en la reducción de emisiones, ser equitativo y considerar las necesidades de las comunidades más vulnerables. Kaswan (2021) de manera similar, plantea que la política ambiental tiene que poner en el centro a la gente, garantizando aspectos sociales básicos cómo: salud, reducción de la pobreza, y el derecho a un ambiente limpio, a esto lo denomina el pilar social del desarrollo sostenible.

Kaswan (2021) y Hernandez-Cortes & Rosas-López (2022) indican que los aspectos relacionados con la justicia ambiental se pueden dividir en los asociados a la exposición inequitativa o desigual a las emisiones de GEI y al cambio climático en general; y en los asociados a la incidencia de la política ambiental en la sociedad.

En relación con la exposición a las emisiones, Kaswan (2021) y Hernandez-Cortes & Meng (2020) muestran, para el caso de California, que la mayoría de las zonas industriales se

encuentran rodeadas de comunidades pobres, vulnerables y de grupos minoritarios. Por lo tanto, la mitigación de emisiones impulsada a través del sistema de comercio de emisiones de California, ha disminuido la exposición de determinadas comunidades de escasos recursos y vulnerables, a contaminantes que afectan la calidad del aire y la salud de sus habitantes. Lo anterior implica que si el precio al carbono es eficiente en la reducción de emisiones, esto conlleva a escenarios de mayor justicia ambiental.

Con respecto a la incidencia de la política ambiental en la sociedad, en el caso del precio al carbono, la imposición de este se traduce en cargas adicionales sobre el gasto de los individuos y los hogares. Lo anterior implica que los hogares que destinan una mayor proporción de su ingreso al consumo se ven más afectados por la política ambiental. En la presente investigación nos enfocaremos en este aspecto de la justicia ambiental, al analizar cuáles son los efectos distributivos considerando las canastas de consumo de los hogares de diversos niveles de ingreso.

La literatura que estudia los efectos distributivos de la fijación de un precio al carbono, mediante impuestos o mecanismos C&T, lo hace principalmente a partir de dos metodologías: los modelos de equilibrio general computable y el análisis de insumo-producto (I-P).

Por un lado, los modelos de equilibrio general (MEG) analizan el impacto distributivo del precio al carbono en el largo plazo. Estos modelos permiten que las empresas y los hogares cambien su comportamiento en respuesta al incremento del precio de los bienes y servicios intensivos en carbono u otros GEI. Los MEG analizan el impacto de las políticas a lo largo de la vida de los agentes, estos impactos en la literatura se indentifican como del lado de fuente (*source-side*) (Cavalcanti et al., 2021; Fremstad & Paul, 2017). Además, los MEG también pueden estimar los impactos por el lado del uso (*use-side*), que reflejan como las políticas cambian el precio de los bienes y servicios adquiridos por los hogares (Goulder et al., 2019).

Por otro lado, los modelos de insumo-producto utilizan el modelo de Leontief para calcular los efectos de corto plazo del establecimiento de un precio al carbono sobre los productos que son intensivos en carbono u otros GEI. En el corto plazo se espera que las empresas trasladen el precio al carbono a los consumidores y los precios de los bienes y servicios se incrementen, por lo tanto, el presupuesto disponible de los hogares se verá afectado por este incremento,

en la literatura estos efectos se identifican como del lado del uso (*use-side*) (Feindt et al., 2021; Renner, 2018).

Para el caso de México, la literatura previa se enfoca en los efectos distributivos del establecimiento de un impuesto al carbono. Gonzalez (2012) utilizando un MEG y suponiendo que existe reciclaje fiscal, indica que la dirección del efecto generada por el impuesto depende del destino de los ingresos obtenidos por este. El impuesto es regresivo si los ingresos se reciclan con una reducción del impuesto a las manufacturas y es progresivo cuando los ingresos se reciclan como un subsidio al sector de alimentos.

Renner (2018) simula un modelo I-P con información a nivel hogar para el caso mexicano y evalúa los efectos distributivos de distintas tasas para el impuesto. Los resultados muestran que al considerar en la base impositiva al gas natural y otros GEI como el metano y el óxido nítrico, los efectos distributivos son regresivos, existe pérdida de bienestar y aumenta la pobreza, principalmente por el aumento de los precios de los alimentos. No obstante, si se considera una redistribución de los ingresos fiscales existen efectos progresivos.

A nivel internacional, para el caso del impuesto al carbono Ekins et al. (2011), Fremstad & Paul (2017) y Moz-Christofolletti & Pereda (2021) encuentran la existencia de efectos regresivos; Goulder et al. (2019) muestra la existencia de efectos regresivos del lado del uso, pero que los progresivos del lado de la fuente pueden compensarlos; Saelim (2019) indica que existen efectos progresivos para el caso de Tailandia.

Para los estudios que analizan los sistemas de comercio de emisiones o el precio al carbono en general, Burtraw et al. (2009) y Wu et al. (2021) indican que los efectos son regresivos, pero que pueden ser progresivos en algunos casos de reciclaje de los ingresos; Grainger & Kolstad (2010) reporta efectos regresivos para EE. UU; para el mismo país Rausch et al. (2011) indica que existen efectos *use-side* regresivos y *source-side* progresivos, y que pueden ser neutros al considerar ambos en presencia de compensación; Feindt et al. (2021) reporta para algunos países de la Unión Europea (UE) que a nivel nacional antes del reciclaje de los ingresos, los efectos son neutros y en algunos casos progresivos, mientras que a nivel UE los efectos son regresivos porque algunos países de ingreso bajo pueden ser fuertemente impactados por el precio al carbono.

Considerar los efectos distributivos es de gran relevancia ya que la literatura muestra que el precio al carbono es en general regresivo, aunque puede ser progresivo cuando existe una correcta reutilización (reciclaje fiscal) de los recursos en acciones de compensación. En el caso de los sistemas de comercio de emisiones la mayoría de los permisos son asignados de manera gratuita, por lo que no existe la capacidad de generar ingresos y por lo tanto no se pueden realizar acciones de compensación (Burtraw et al., 2009), o estas tienen que realizarse con recursos externos al mecanismo. Para el caso del SCE mexicano, la asignación de permisos se planea realizar de manera gratuita en las etapas tempranas del mecanismo y posteriormente se considera la realización de subastas para los nuevos participantes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

El presente trabajo se diferencia de las investigaciones previas al realizar un análisis específico de los sectores que serán parte de la política ambiental mexicana, a través del SCE, además presenta una desagregación nivel estatal, esto proporciona mayor información si es que se quiere compensar a sectores sociales y regiones que son vulnerados ante la implementación de esta política pública.

Tabla 1: Literatura sobre los efectos distributivos del precio al carbono

Estudio	País(es)	Sistema	Método	Conclusión
Burtraw, Sweeney, y Walls (2009)	EE. UU.	C&T	Modelo econométrico	Efectos regresivos del precio al carbono. Los efectos pueden ser compensados si se considera la subasta de los permisos de contaminación y el reciclaje de los ingresos.
Grainger y Kolstad (2010)	EE. UU.	Precio al carbono	I-P	Efectos regresivos.
Rausch, Metcalf, y Reilly (2011)	EE. UU.	Precio al carbono	MEG	Efectos use-side regresivos y efectos source-side progresivos. Efectos neutros al considerar los dos tipos de efectos en presencia de compensación.
Ekins et al. (2011)	Unión Europea	Impuesto	Modelo econométrico	Efectos regresivos en el sector de uso de energía y neutros en el sector de transporte. Mayor regresividad en hogares rurales.
Gonzalez (2012)	México	Impuesto	MEG	El impuesto es regresivo o progresivo dependiendo del tipo de reciclaje.
Fremstad y Paul (2017)	EE. UU.	Impuesto	I-P	Efectos regresivos aun con mecanismos de compensación.
Renner (2018)	México	Impuesto	I-P	Efectos regresivos. Efectos progresivos en presencia de compensación.
Goulder et al. (2019)	EE. UU.	Impuesto	MEG	Use-side regresivos; source-side progresivos. Source-side compensan los efectos regresivos.
Saelim (2019)	Thailandia	Impuesto	I-P	Efectos regresivos.
Moz-Christofoletti y Pereda (2021)	Brasil	Impuesto	I-P	Efectos regresivos.

Tabla 1: Literatura sobre los efectos distributivos del precio al carbono
(continued)

Estudio	País(es)	Sistema	Método	Conclusión
Wu, Zhang, y Qian (2021)	China	C&T	MEG	Efectos source-side y use-side regresivos. Si se compensa mediante reducciones en el impuesto para los hogares de menores ingresos aún existen efectos regresivos. Efectos progresivos si se compensa mediante transferencias directas a los hogares de menores ingresos.
Feindt et al. (2021)	23 países de la UE	Precio al carbono	I-P	A nivel nacional, antes del reciclaje los efectos son neutros, en algunos casos progresivos. A nivel Unión Europea los efectos son regresivos porque algunos países de ingreso bajo pueden ser fuertemente impactados por el precio al carbono.

2. Metodología y datos

Este capítulo presenta la metodología de estimación de los efectos distributivos a nivel hogar de imponer un precio al carbono a través del SCE en México, así como una descripción de los datos utilizados en las distintas etapas.

Primero se desarrolla el método de análisis de insumo-producto (I-P) el cual en su forma más básica consiste en un sistema de ecuaciones lineales que describen la distribución del producto de una industria en toda la economía (Miller & Blair, 2009). El análisis de I-P aquí se utiliza para calcular los coeficientes de contenido de carbono por sector productivo, también llamados intensidades de carbono, y poder modelar el efecto del cambio exógeno en el precio generado por la imposición del precio al carbono. Se consideran precios al carbono de \$25, \$50 y \$75usd de acuerdo con los escenarios utilizados por Black et al. (2021).⁷

Como segundo paso, se calcula la carga adicional por hogar considerando sus patrones de consumo, posteriormente se agregan los hogares por decil, para así poder analizar los efectos distributivos entre distintos grupos de ingreso.

2.1. Análisis de insumo-producto y efecto del precio al carbono

Para el análisis de insumo-producto seguimos los trabajos de Miller & Blair (2009), Grainger & Kolstad (2010), Renner (2018), Feng et al. (2018) y Feindt et al. (2021). El modelo de I-P considera n ecuaciones lineales que representan la producción de una economía y se expresa de la siguiente manera:

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{i,j} + y_i \quad (1)$$

donde: x_i es el vector de la producción total para los distintos subsectores i de la economía; n corresponde al número de subsectores; $z_{i,j}$ es el flujo monetario del subsector j necesario para

⁷Black et al. (2021) indican que el precio de \$75usd por tonelada de CO₂e es el necesario para alcanzar las metas de mitigación planteadas en el Acuerdo de París al año 2030, considerando el precio al carbono como una de políticas ambientales necesarias para limitar el calentamiento entre 1.5 y 2°C, es decir, el precio al carbono por si solo no es suficiente.

producir \$1 de producto para el subsector i y; y_i es la demanda final de cada subsector i .

La matriz de tecnología $a_{i,j}$, se obtiene al dividir los flujos inter-industria entre el producto total del sector j , como se muestra a continuación:

$$A = a_{i,j} = \frac{z_{i,j}}{x_j} \quad (3)$$

A esta relación se le conoce como coeficiente técnico, coeficiente de insumo-producto o coeficiente directo de insumo-producto (Miller & Blair, 2009). La matriz $a_{i,j}$ nos permite realizar el cálculo de la inversa de Leontief (1936). Como primer paso despejamos $z_{i,j}$ de la ecuación (3):

$$z_{i,j} = a_{i,j}x_j \quad (4)$$

sustituyendo $z_{i,j}$ en (2) tenemos:

$$x_j = a_{i,j}x_j + y_i \quad (5)$$

Resolviendo x_j , se obtiene la producción total generada por la demanda final, como se muestra a continuación:

$$x_j = (I - A)^{-1}y_i \quad (5)$$

donde I denota la matriz identidad e $(I - A)^{-1}$ es la matriz inversa de Leontief, la cual refleja todos los preproductos que se han utilizado en alguna etapa durante el proceso productivo.

Ahora, calculamos las emisiones asociadas con la producción de bienes de consumo final, considerando las emisiones de todos los procesos intermedios necesarios para producir los bienes finales. Consideremos un vector e_i que denote las emisiones de gases de efecto invernadero (en CO_2 equivalente) generadas por unidad monetaria de producción de cada sector i , esto es lo que conocemos como intensidades de carbono. Para el vector de demanda final y_i , las

emisiones de gases de efecto invernadero totales resultantes, también identificadas en la literatura como emisiones indirectas de los hogares \mathbf{g}_{ind} , están dadas por:

$$\mathbf{g}_{ind} = e'_i x_i = e'_i (I - A)^{-1} y_i \quad (6)$$

El método de I-P permite identificar las emisiones totales de GEI resultantes del proceso productivo del respectivo sector i , más las emisiones intermedias de GEI generadas en la producción de insumos necesarios para la producción de bienes y servicios, por unidad de demanda final y_i .

Adicionalmente a las emisiones originadas en la producción de bienes y servicios de consumo final, los hogares demandan de manera directa energía o combustibles que generan emisiones de GEI de manera directa \mathbf{g}_{dir} . Las emisiones totales de GEI generadas por el consumo de los hogares es la suma de las emisiones indirectas y directas originadas por la demanda de bienes y servicios, y se expresa de la siguiente manera:

$$\mathbf{g} = \mathbf{g}_{dir} + \mathbf{g}_{ind} \quad (7)$$

Por último, si se impone de forma exógena un precio al carbono de δ por tonelada de emisiones de CO_2e , el precio total pagado \mathbf{p} asociado a las emisiones totales por actividad económica i , es entonces:

$$\mathbf{p} = \delta \mathbf{g} \quad (8)$$

2.2. Efecto en el bienestar de los hogares

El efecto en el bienestar de los hogares está determinado por el cambio de los precios generado por la imposición de un precio al carbono en los sectores que son intensivos en emisiones de GEI y cómo estos cambios impactan el gasto de los hogares. Para vincular la producción con el consumo se asignan las partidas de gasto de la encuesta de ingreso-gasto de los hogares con los subsectores productivos de la matriz de insumo-producto. La vinculación se realiza

de acuerdo con el nombre del rubro del gasto y la descripción asignada en el cuestionario.

Para obtener los efectos distributivos, calculamos los efectos en el bienestar de los hogares, a través del cambio en la cuota presupuestaria por categoría de consumo $\Delta \mathbf{w}_{hi}$, esto multiplicando el precio al carbono hipotético de cada categoría de consumo, considerando su intensidad de carbono, por la proporción de gasto del hogar i , tal como se muestra a continuación:

$$\Delta \mathbf{w}_{hi} = \mathbf{w}_{hi} \mathbf{p}_i \quad (9)$$

Se calculan los efectos absolutos y relativos por hogar, considerando la carga de carbono adicional total y por destino del gasto. Además, se realiza el análisis a nivel nacional y de manera desagregada por entidad federativa.

2.3. Datos

La matriz de I-P que utilizaremos es la publicada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en su última versión disponible del año 2013. Se utiliza la matriz de origen doméstico, ya que el inventario de emisiones sólo captura las emisiones nacionales. Los datos consisten en una matriz simétrica que captura el flujo inter-industria de bienes y servicios a un nivel de desagregación de subsector, de acuerdo con la clasificación del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). Además, multiplicamos el vector de demandas finales por el crecimiento económico de 2013 a 2018 para homologar los datos con el inventario de emisiones y la encuesta de ingreso-gasto de 2018, esto bajo el supuesto de que la estructura de la economía mexicana durante este periodo no cambió.

En el sistema de comercio de emisiones mexicano participarán de manera obligatoria las instalaciones cuyas emisiones anuales sean iguales o mayores a 100 mil toneladas de emisiones directas de dióxido de carbono y pertenezcan a los sectores presentados en la tabla 2 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021). Por simplicidad en el análisis y por la imposibilidad de obtener las emisiones por unidad económica, suponemos que el precio al carbono se aplica al subsector de forma general.

Los datos de emisiones de gases de efecto invernadero son obtenidas del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero generado por la SEMARNAT, a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Utilizaremos el INEGyCEI de 2018 para enlazar la información con la encuesta de ingreso-gasto de los hogares del mismo año. El inventario presenta las emisiones a un nivel de desagregación de categoría, fuente y subfuente de emisión para los distintos GEI así como la emisiones de manera agregada en Gg de CO_2e . El INEGyCEI presenta 102 subfuentes de emisión lo que permite emparejar las emisiones con los distintos subsectores de la actividad económica presentados en la matriz de I-P.

Utilizamos los microdatos de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH) del año 2018, proveida por el INEGI. La ENIGH es una encuesta representativa a nivel nacional que tiene como objetivo dotar de datos para el análisis detallado del monto, estructura y distribución de los ingresos de los hogares y del destino de los gastos del hogar en bienes de consumo duradero y no duradero (INEGI, 2018). Trabajamos con la tabla *concentradohogar* que cuenta con 74,647 observaciones y 126 variables, de las cuales 50 corresponden a diferentes rubros de gasto. Cada rubro de gasto se enlaza con un subsector de la matriz de insumo-producto. Para homogeneizar la información ajustamos los datos de la ENIGH y los precios al carbono con el Índice Nacional de Precios al Consumidor, obtenido del INEGI.

Tabla 2: Subsectores considerados en el SCE mexicano

Subsector SCIAN	Descripción subsector
211	Explotación, producción, transporte y distribución de hidrocarburos
212	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas
221	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica
311	Industria de alimentos
312	Industria de bebidas y del tabaco
322	Industria de celulosa y papel
324	Industria petroquímica
325	Industria química
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos (industrias: cementera, calera, vidrio)
331	Industrias metálicas básicas (siderúrgica, metalúrgica)
332	Fabricación de productos metálicos
336	Fabricación de equipo de transporte (industria automotriz)

Fuente:

Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2018).

3. Resultados y discusión

La incidencia del precio al carbono nos indica cómo son distribuidos los costos en la economía, específicamente, cómo impacta a distintos grupos de ingreso. El efecto distributivo determina a los ganadores y perdedores de la política ambiental (Grainger & Kolstad, 2010). Este capítulo presenta los resultados de la estimación de la carga adicional en las canastas de consumo de los hogares mexicanos generada por la imposición de un precio al carbono mediante el SCE. Primero, visualizamos los patrones de consumo de los hogares, específicamente los relacionados con los sectores incorporados en el SCE. Después, presentamos las emisiones de GEI asociadas a las distintas canastas de consumo, agregando los hogares por decil de ingreso. A continuación, mostramos las cargas adicionales sobre las canastas de consumo, considerando las intensidades de carbono calculadas⁸ y precios al carbono de \$25, \$50 y \$75usd por tCO₂e emitida. Para finalizar con una breve discusión sobre los resultados.

3.1. Patrones de consumo y de emisiones de GEI por hogar

Los efectos distributivos del precio al carbono en los hogares dependen primordialmente de sus patrones de consumo. Los sectores que están considerados dentro del SCE mexicano pueden generar efectos distributivos regresivos en la distribución del ingreso dadas las características de la economía mexicana y el diseño del SCE.

La tabla 3 presenta el ingreso corriente promedio por decil de los hogares mexicanos, así como el porcentaje del gasto en relación con el ingreso corriente de distintas categorías que estarían afectadas por el SCE.⁹ Es posible observar que para el primer decil el gasto en alimentos representa más de la mitad de su ingreso, si añadimos bebidas y tabaco, y transporte estos rubros representan más de dos terceras partes de su ingreso. A pesar de que en términos absolutos a partir del decil 5 los hogares gastan más en alimentos que el ingreso promedio del decil 1, en nuestro análisis es más relevante analizar el gasto relativo que se vería afectado por la imposición del precio al carbono, ya que la carga adicional desplazaría otros gastos como educación, salud, entretenimiento, o incluso puede generar que disminuyan el consumo

⁸Ver Anexo 1

⁹Debido a que no se puede identificar el origen de producción de las mercancías que consume cada hogar, suponemos que el precio al carbono afecta de manera homogénea a todo el consumo por categoría del gasto.

de alimentos básicos que son necesarios para su reproducción diaria.

El precio al carbono afectaría potencialmente el 76.9 por ciento del ingreso del decil más bajo, principalmente por el alto porcentaje que dedican estos hogares al gasto en alimentos; el segundo decil vería afectado el 59.5 por ciento de su consumo, a pesar de ser una cifra alta, esta es mucho menor a la del primer decil. En el otro extremo, los dos deciles de mayores ingresos sólo verían afectado el 35.9 y 26.9 por ciento de su ingreso, respectivamente.

El rubro del gasto de autos privados es el único en el que los deciles de mayores ingresos destinan una mayor cantidad de su ingreso en relación a los deciles de menores ingresos. El rubro de transporte, además de ser el segundo al que destinan mayores ingresos en promedio todos los hogares, muestra una distribución bastante homogénea. Aún sin considerar las intensidades de carbono de cada categoría de gasto, a partir del análisis de los patrones de consumo por decil, considerando los sectores que se verían afectados por la imposición del precio al carbono, podemos observar que los hogares más afectados por esta política serían los de menores ingresos.

Tabla 3: Patrones de consumo de los hogares por decil de ingreso

Decil	Ingreso mensual (\$mxn de 2013)	Ingreso anual (\$mxn de 2013)	Alimentos	Bebidas y tabaco	Energía en el hogar	Utensilios y enseres	Autos privados	Transporte	Ingreso afectado por los sectores del SCE (%)
1	2,484.6	29,815.3	50.6	4.7	6.3	1.3	1.3	12.6	76.9
2	4,378.1	52,537.5	37.5	3.6	5.1	1.0	1.2	11.1	59.5
3	5,833.1	69,997.4	32.6	3.1	4.5	1.0	0.9	11.4	53.5
4	7,251.8	87,021.8	29.2	2.9	4.1	1.0	1.1	11.5	49.8
5	8,793.0	105,516.4	27.0	2.6	3.7	1.0	1.2	11.9	47.3
6	10,590.6	127,087.7	24.4	2.3	3.5	0.9	1.4	11.7	44.3
7	12,871.5	154,457.8	22.3	2.2	3.2	1.0	1.9	11.9	42.4
8	16,025.1	192,301.0	19.7	1.8	2.8	1.1	2.2	11.6	39.2
9	21,378.9	256,547.1	17.4	1.6	2.5	1.0	2.3	11.1	35.9
10	43,510.4	522,124.6	11.5	0.9	1.7	0.9	3.2	8.6	26.9
Media	13,311.7	159,740.6	27.2	2.6	3.7	1.0	1.0	11.3	47.6

Fuente:

Elaboración propia con datos de la ENIGH 2018 y SEMARNAT 2018.

En la tabla 4 se presentan las emisiones por el lado de la demanda promedio de los hogares (*use-side*), están por objeto del gasto considerando las intensidades de carbono de cada sector. La estimación muestra que los destinos del gasto que contribuyen con una mayor cantidad de emisiones son los de gasto en energía y en transporte. El objeto de gasto de energía es de gran relevancia ya que como se observa en la tabla 3, es un destino del gasto que representa una mayor porción del ingreso para los primeros deciles en comparación de los últimos deciles. Para los primeros tres deciles las emisiones de este sector representan aproximadamente dos quintas partes de sus emisiones totales.

Además, se observa que existe una gran desigualdad en la responsabilidad de la generación de emisiones de GEI, las emisiones generadas en los sectores que considera el SCE por los primeros dos deciles corresponden al 11.4 y 16.9 por ciento de las emisiones totales del decil de mayores ingresos, es decir el último decil contamina 8.8 y 5.9 veces lo que contaminan los primeros deciles, respectivamente. Incluso entre los últimos deciles existe una gran disparidad, la emisiones del penúltimo decil corresponden sólo al 65.2 por ciento de las emisiones del decil 10.

Tabla 4: Emisiones promedio de los hogares por decil (toneladas CO₂e)

Decil	Alimentos	Bebidas y tabaco	Energía en el hogar	Utensilios y enseres	Autos privados	Transporte	Total	Relación con el decil 10 (%)
1	0.0134	0.0013	0.7740	0.0581	0.0001	0.9372	1.7840	11.38
2	0.0175	0.0017	1.0969	0.0771	0.0002	1.4615	2.6548	16.94
3	0.0202	0.0019	1.2961	0.1006	0.0002	1.9908	3.4098	21.76
4	0.0225	0.0022	1.4811	0.1230	0.0002	2.5100	4.1391	26.41
5	0.0252	0.0024	1.6254	0.1499	0.0003	3.1272	4.9304	31.46
6	0.0275	0.0026	1.8327	0.1750	0.0004	3.7222	5.7604	36.76
7	0.0306	0.0029	2.0054	0.2174	0.0007	4.5920	6.8492	43.7
8	0.0336	0.0031	2.2506	0.3006	0.0010	5.5688	8.1577	52.05
9	0.0395	0.0036	2.6453	0.3884	0.0014	7.1437	10.2219	65.22
10	0.0533	0.0042	3.6577	0.7225	0.0041	11.2299	15.6718	100
Media	0.0283	0.0026	1.8665	0.2313	0.0009	4.2283	6.3579	

Fuente:

Elaboración propia con datos de la ENIGH 2018, matriz I-P 2013 e INEGyCEI 2018

Si analizamos los datos de emisiones por entidad federativa (gráfica 1) obtenemos que en promedio las que generan mayores emisiones por hogar son entidades del norte del país: (1) Baja California, (2) Sinaloa, (3) Sonora, (4) Nuevo León, (5) Estado de México, (6) Coahuila. Las entidades con menores emisiones de GEI promedio por hogar son (32) Oaxaca, (31) Guanajuato, (30) Chiapas, (29) Querétaro, (28) Hidalgo.

Un caso interesante es el Estado de Yucatán, donde el decil 1 es el que genera menores emisiones por el lado de la demanda (1.16 toneladas anuales de CO₂e) en relación con el mismo decil de las demás entidades, sin embargo, el decil 10 genera en promedio 17.24 toneladas anuales de CO₂e, generando que sea la entidad federativa con más desigualdad en término de emisiones por hogar, el último decil genera 14.8 veces las emisiones del primer decil. Otras entidades con gran disparidad entre deciles son Chihuahua, Jalisco, Quintana Roo y Chiapas.

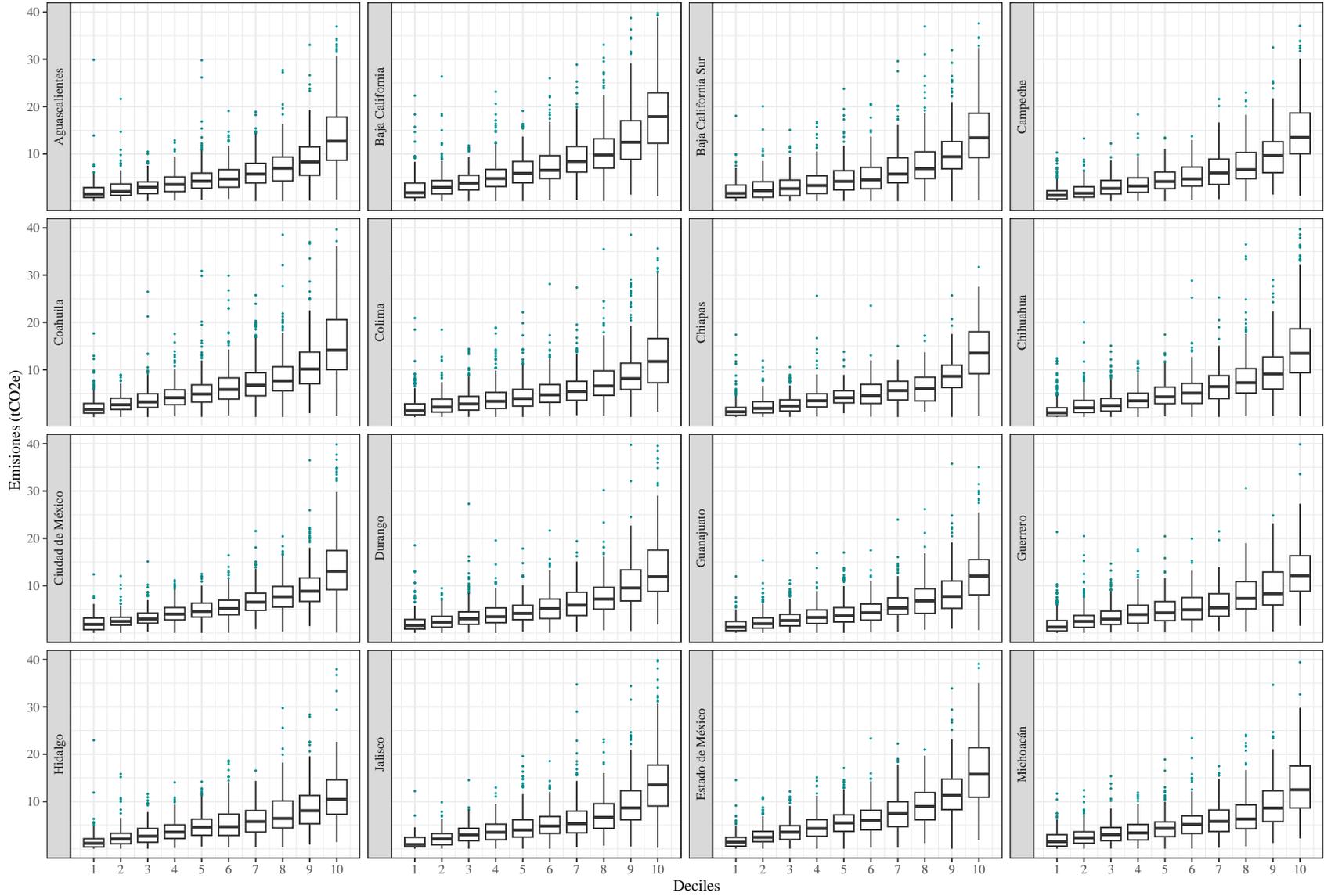
3.2. Efecto del precio al carbono sobre el bienestar de los hogares

Utilizamos tres distintos precios al carbono para calcular la carga adicional, como se mencionó en el apartado anterior, los precios son \$25, \$50 y \$75 dólares,¹⁰ acorde a lo planteado por Black et al. (2021), los precios también se homologaron por inflación para hacerlos compatibles con la matriz I-P y la ENIGH.

La gráfica 2 muestra la estimación de la carga adicional promedio por decil de ingreso generada por la imposición exógena de distintos precios al carbono. El resultado muestra que la implementación del precio al carbono a partir del SCE, tiene potenciales efectos regresivos en la distribución ya que el efecto es mayor en los deciles de menores ingresos.

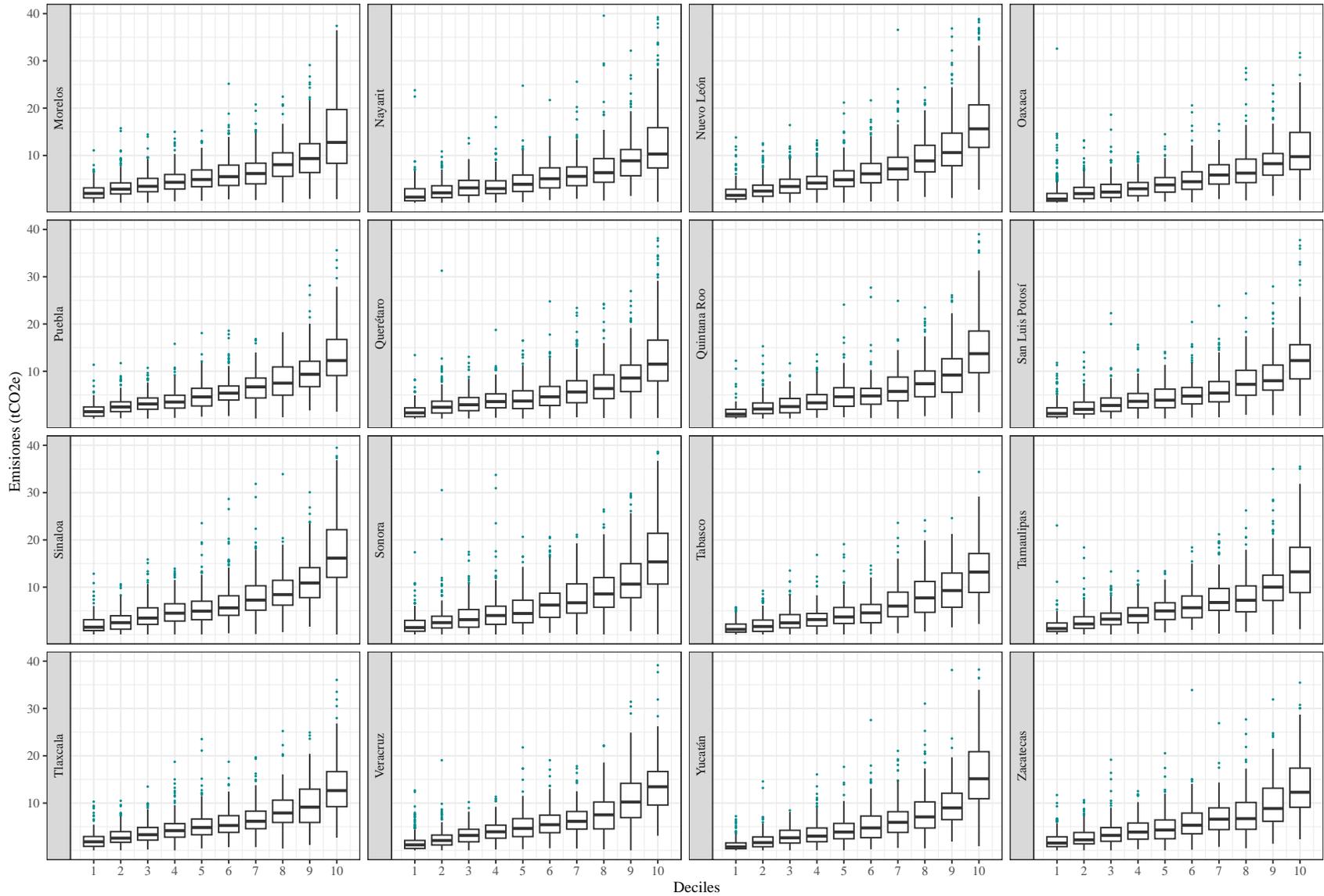
¹⁰Asumimos un tipo de cambio \$20mxn igual a \$1usd.

Gráfica 1: Distribución de las emisiones de GEI de los sectores considerados en el SCE por entidad federativa y por decil de ingreso
Emisiones anuales por hogar de CO₂e (toneladas)



Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

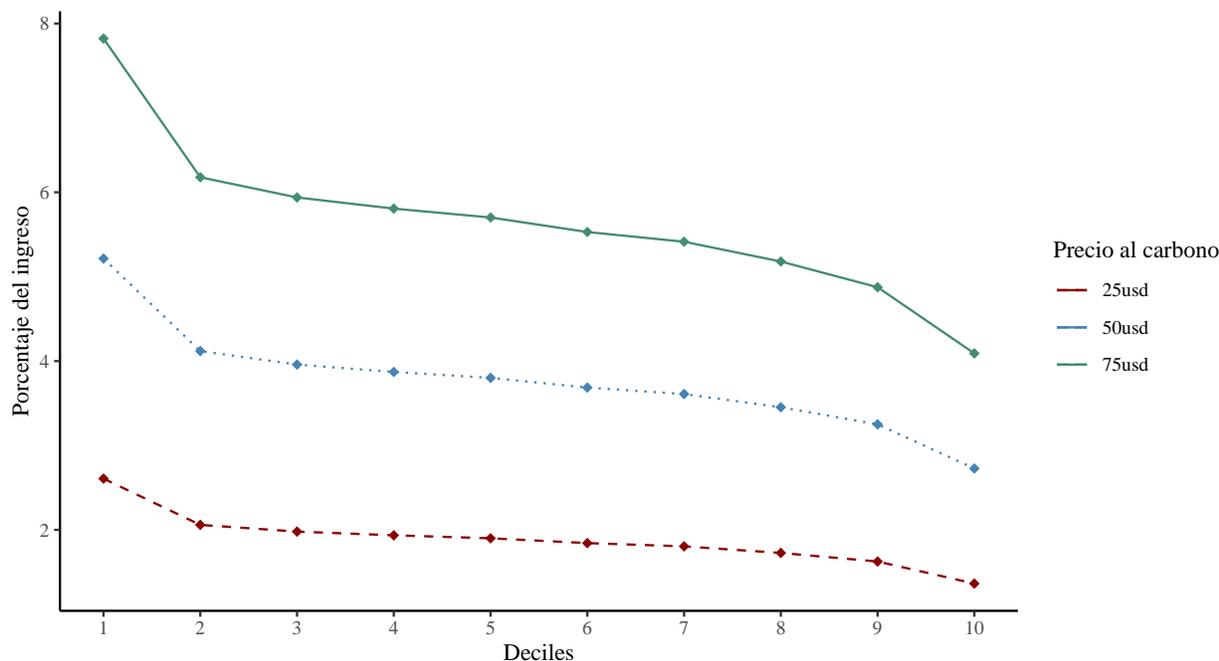
Gráfica 1: Distribución de las emisiones de GEI de los sectores considerados en el SCE por entidad federativa y por decil de ingreso (continuación)
Emisiones anuales por hogar de CO₂e (toneladas)



Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

En el caso del precio al carbono más ambicioso en materia ambiental que es el de \$75usd,¹¹ la imposición generaría en promedio, para el primer decil, una carga adicional del 7.8 por ciento del ingreso corriente de los hogares y para el segundo una carga de 6.2 por ciento de su ingreso, mientras que para los dos deciles de mayores ingresos esta carga sería del 5.2 y 4.9 por ciento de su ingreso, respectivamente.

Gráfica 2: Carga adicional por la implementación de distintos precios al carbono
% del ingreso corriente



Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

Es necesario considerar que la mayoría de los hogares de menores ingresos normalmente destinan la mayoría de su ingreso al gasto, es decir, no generan ahorro. Lo anterior supone que para satisfacer la carga adicional estos hogares tendrían que dejar de consumir otros bienes y servicios.¹² Si bien uno de los mecanismos por el que el precio al carbono busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es a través de la reducción del consumo de bienes y servicios intensivos en carbono, este objetivo tendría que ser alcanzado sin comprometer la reproducción básica de la población.

La distribución del efecto entre los deciles 3 y 7 es bastante homogénea. La diferencia entre

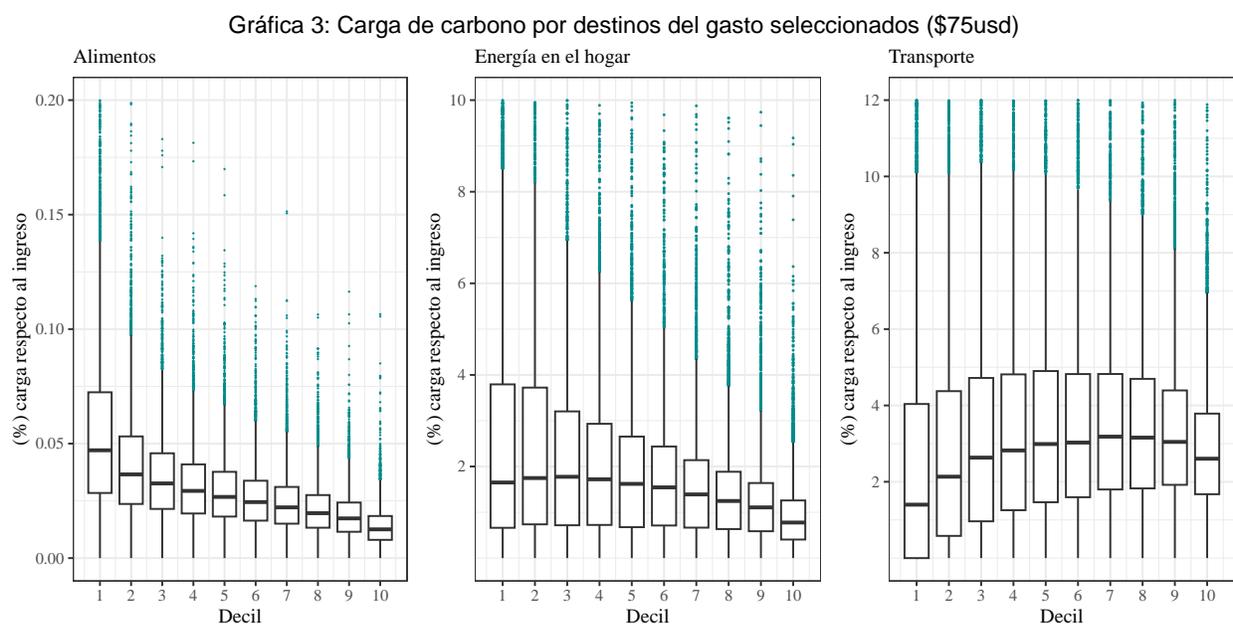
¹¹La mayor parte del análisis se realiza sobre el precio al carbono de \$75usd, sin embargo, las relaciones son las mismas para los casos de \$25 y \$50usd. En el anexo 2 se muestran las gráficas 3 y 4 para los casos de \$25 y \$50usd.

¹²De acuerdo con la ENIGH, en promedio los hogares empiezan a generar ahorro a partir del decil dos.

estos deciles en el caso del precio al carbono de \$75usd es de sólo 0.5 puntos porcentuales, en los casos de los precios de \$25 y \$50usd la diferencia es menor debido a que el efecto también es menor.

La gráfica 3 presenta la distribución de la carga de carbono para los destinos del gasto de alimentos, energía en el hogar y transporte, los cuales son los principales objetos del gasto por la cantidad de recursos que dedican los hogares como porcentaje de su ingreso. Además, previamente se mostró que estos destinos del gasto en términos monetarios representan una mayor porción de los ingresos de los primeros deciles.

De la desagregación de la carga de carbono tenemos que a pesar de que el gasto en alimentos en términos monetarios representa la mayor porción del gasto, en términos de la carga de carbono su efecto es menor. A pesar de que los deciles de menores ingresos se ven más afectados en relación a los de mayores ingresos, el efecto es mínimo. Por ejemplo, para el decil 1, que es el más afectado, en promedio la carga adicional es menor al 0.05 por ciento del ingreso del hogar.



Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

Los destinos del gasto que aportan más a la carga de carbono total son los de energía en el hogar y transporte, estos resultados son similares a los obtenidos por Feindt et al. (2021) para la Unión Europea, por Grainger & Kolstad (2010) para Estados Unidos y por Renner

(2018) para el caso de un impuesto al carbono general en México.

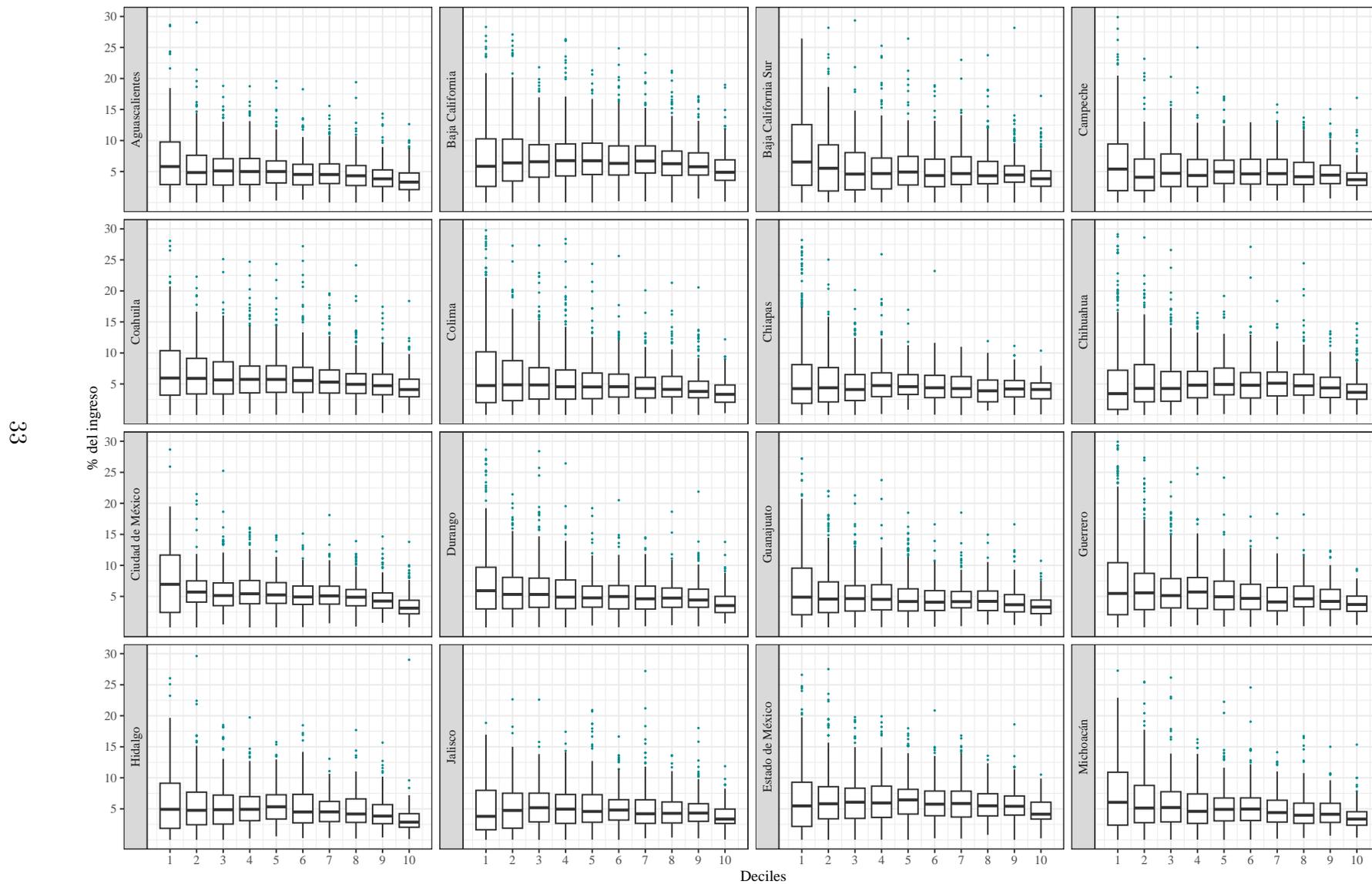
Por un lado, la carga adicional para el gasto de energía en el hogar es mayor de manera relativa para los hogares de los primeros deciles, es decir, es regresivo. Para los primeros 5 deciles la carga adicional es de entre 1.7 y 1.9 por ciento del ingreso y decrece este efecto a partir del decil 6, para representar en el decil 10 en promedio alrededor de 0.7 por ciento.

Por otro lado, la carga de carbono para el destino de gasto de transporte presenta un comportamiento progresivo. Los deciles que se verían más afectados por la imposición del precio al carbono, para este objeto del gasto, serían el séptimo y octavo, con una carga adicional promedio de 3.2 por ciento de su ingreso. El primer y último decil tendrían una carga adicional de 1.5 y 2.6 por ciento, respectivamente.

Si analizamos las cargas de carbono por entidad federativa (gráfica 4) observamos que en la mayoría existen efectos regresivos, sin embargo, esto se debe en la mayoría de los casos a las disparidades entre los deciles de las esquinas. La carga de carbono entre los deciles del 2 al 8 presenta poca variación. Otro aspecto relevante es que el decil de menores ingresos presenta la mayor variación entre los hogares que lo componen, en contraste, el decil de mayores ingresos es el que presenta la menor variación.

Respecto a las entidades federativas que se mencionaron en el apartado anterior, que presentaban gran disparidad entre el primer y último decil, para los casos de Yucatán, Chihuahua y Quintana Roo, se observan efectos progresivos. Sin embargo, este fenómeno se observa sólo si se consideran los deciles del primero al noveno, ya que el último decil presenta una carga de carbono menor respecto a los deciles anteriores.

Gráfica 4: Carga de carbono por entidad federativa y por decil de ingreso (\$75usd por tonelada)
 Porcentaje del ingreso

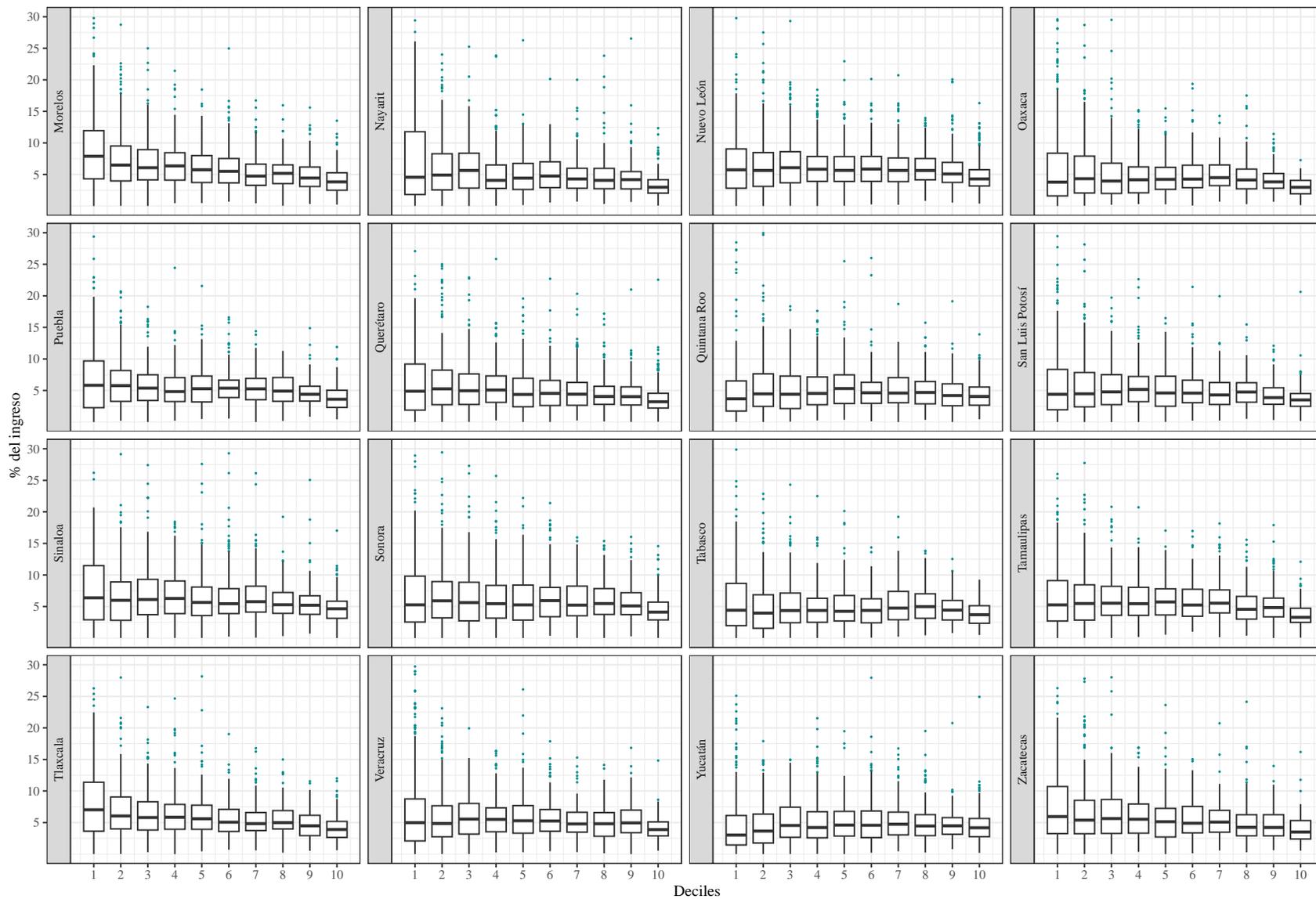


Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

Gráfica 4: Carga de carbono por entidad federativa y por decil de ingreso (\$75usd por tonelada) (continuación)

Porcentaje del ingreso

78



Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

3.3. Discusión

Los resultados obtenidos muestran, en primer lugar, que la responsabilidad de la generación de emisiones es considerablemente mayor para la población de mayores ingresos, siendo cerca de nueve veces más las emisiones del último decil en relación con el primero. Ello se asocia a la elevada concentración del ingreso y del gasto donde los grupos de ingreso más elevados concentran la mayor parte del gasto total (p.e. carga fiscal). En segundo lugar, se observa que el precio al carbono tiene efectos regresivos en la distribución del ingreso atendiendo sus efectos en la participación del gasto de los bienes con alto contenido en carbono en el gasto total por grupos de ingreso (p.e. incidencia fiscal). Destaca que los tres primeros deciles son los más afectados lo que lleva a que tengan que sacrificar el consumo de otros bienes y servicios.

Los resultados obtenidos están sujetos a diversas incertidumbres en donde destacan:

- Los resultados obtenidos con estáticos y reflejan las consecuencias del impuesto en el corto plazo. En este sentido, no se analizar los cambios en las decisiones de consumo de los hogares y empresas, de inversión y en la producción de las empresas de largo plazo. Esto, por ejemplo, se relaciona con el supuesto del traspaso total del precio al carbono a los consumidores, que permite modelar el efecto sobre las canastas de consumo de los hogares. En este caso, la proporción que se traslada en cada industria, por la carga adicional del precio al carbono, dependerá de las elasticidades precio de las mercancías y de la capacidad de cada industria de generar procesos productivos menos intensivos en carbono
- El análisis realizado no permite diferenciar el origen de las mercancías consumidas, es decir, no hace diferencia entre mercancías que se produjeron en el país y aquellas que son importadas. En este sentido, al considerar la implementación del precio al carbono sobre toda la canasta de consumo se está sobreestimando el efecto de la carga adicional. Sin embargo, como se mencionó en la introducción y el primer capítulo, el precio al carbono ya sea mediante un impuesto o mecanismo de C&T, se está convirtiendo en uno de los instrumentos más utilizados en materia de acción climática en el mundo, por

lo que el efecto puede no estar muy alejado del esperado en un futuro próximo. Incluso existen países que ya están considerando la implementación de un impuesto al carbono fronterizo, para evitar que haya fugas de carbono y que las mercancías importadas no reflejen su huella de carbono.

- El análisis está sujeto a un sesgo de sobreestimación al considerar el precio al carbono sobre los sectores productivos sin contemplar si las emisiones son reguladas o no por el SCE. Esto se debe a que para el caso de México no se publican los datos de emisiones de GEI por empresa, además de que a través de las encuestas de ingreso-gasto no es posible identificar si el consumo de bienes y servicios proviene de las empresas reguladas por el SCE.

A pesar de las limitantes mencionadas, los resultados obtenidos permiten obtener una perspectiva de los efectos distributivos de esta política ambiental. El precio al carbono, sin mecanismos de compensación, actúa de la misma forma que otros impuestos al consumo, de forma regresiva. Este resultado es de gran relevancia para tomar en cuenta para el caso de una economía tan desigual como la mexicana. Considerar estos impactos es de gran importancia para el diseño y posibles adaptaciones al mecanismo.

4. Conclusiones e implicaciones de política pública

El análisis presentado proporciona información relevante sobre los patrones de contaminación y sobre los potenciales efectos distributivos que generaría la instauración del precio al carbono a través del mecanismo de C&T en México, considerando los patrones de consumo, la distribución del ingreso, los sectores incluidos en el mecanismo y el esquema de asignación de permisos de emisión del mercado de carbono.

Observamos que existe gran desigualdad en los patrones de contaminación y que el decil de mayores ingresos se diferencia de los deciles que lo preceden. Los efectos distributivos del precio al carbono de manera agregada serían regresivos, a pesar de que existe gran desigualdad en los patrones de consumo y de contaminación, siendo los hogares de menores ingresos los que menos contribuyen al problema del calentamiento global que crea y enfrenta nuestra sociedad. La regresividad del precio al carbono comprueba la hipótesis de esta investigación, si bien de manera absoluta la carga de carbono es superior en los hogares de mayores ingresos, en términos relativos esta representa una mayor porción de los ingresos para los hogares de los primeros deciles. Observamos que, sin dejar de ser regresiva, la carga de carbono en los deciles intermedios —del decil 2 al decil 8— presenta poca variación, siendo los deciles de las esquinas los que presentan una mayor desigualdad respecto a los demás.

También se mostró que los destinos del gasto que determinan la mayor cantidad de la carga de carbono, para todos los deciles, son los de energía en el hogar y transporte, principalmente por el alto contenido de carbono de estos destinos del gasto. Esto es relevante porque podría significar que el precio al carbono puede ser efectivo en su meta de reducir las emisiones de carbono y otros GEI, al menos por el lado de la demanda. Además, a pesar de que se incluyen a las industrias de alimentos y bebidas, éstas presentan poca relevancia en la carga adicional sobre el gasto.

Otro aspecto relevante es que para el objeto del gasto de transporte, el precio al carbono es progresivo, aunque el efecto decrezca para los últimos deciles. El mismo comportamiento se encuentra en el gasto en autos privados y refacciones. Lo anterior indica que a medida que se incrementa el ingreso, los hogares prefieren el transporte privado, que en general es

más intensivo en emisiones. Esto plantea retos y oportunidades para políticas que se pueden implementar de manera simultánea para reducir las emisiones de GEI. El precio al carbono se puede acompañar de una política de movilidad que priorice el uso del transporte público eficiente en término de generación de emisiones.

También, vemos que existe un patrón regional: las entidades federativas del norte del país en promedio contaminan más que las demás, principalmente por su alto consumo de energía eléctrica. El cambio climático es de gran relevancia para estas entidades ya que pequeñas variaciones en la temperatura promedio generan grandes riesgos para su población y pueden incrementar de manera relevantes los costos para los hogares y empresas al tener que dedicar una mayor porción de sus ingresos al consumo de energía eléctrica, principalmente para el uso de aire acondicionado que regule la temperatura ambiente.

Además, entidades del Sur como Oaxaca y Chiapas presentan de manera agregada poca responsabilidad en la generación de emisiones debido a los bajos niveles de gasto de sus habitantes, lo que refleja la gran desigualdad regional existente en nuestro país.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados en otras investigaciones, con la característica de que para el caso de los mercados de carbono, si la asignación de permisos se realiza de manera gratuita, como se planea hacer en México y como se realiza en la mayoría de este tipo de mecanismos, existe poco espacio para realizar medidas de compensación para los hogares más afectados.

Lo anterior es de gran importancia ya que para el caso de economías desiguales como la mexicana, posiblemente la implementación del precio al carbono a través de un impuesto al carbono pueda ser más eficiente en términos de distribución del ingreso que un mecanismo de C&T, ya que el impuesto permite generar ingresos de manera constante y generaría espacio fiscal para compensar a los hogares de menores ingresos, que como se mostró, serían los más afectados.

La política de fijación de precio al carbono es fundamental para reducir las emisiones de CO_2 y otros GEI, y así contribuir a aplanar la curva del incremento de la temperatura promedio en el mundo. Los resultados de esta investigación no plantean la eliminación o restricción del

precio al carbono, sino considerar la mayor cantidad de efectos colaterales que puede generar el mecanismo, para así diseñar la política ambiental bajo un óptica de justicia económica, social y ambiental.

Anexos

Anexo 1

Tabla 5: Intensidades de carbono de los sectores considerados en el SCE

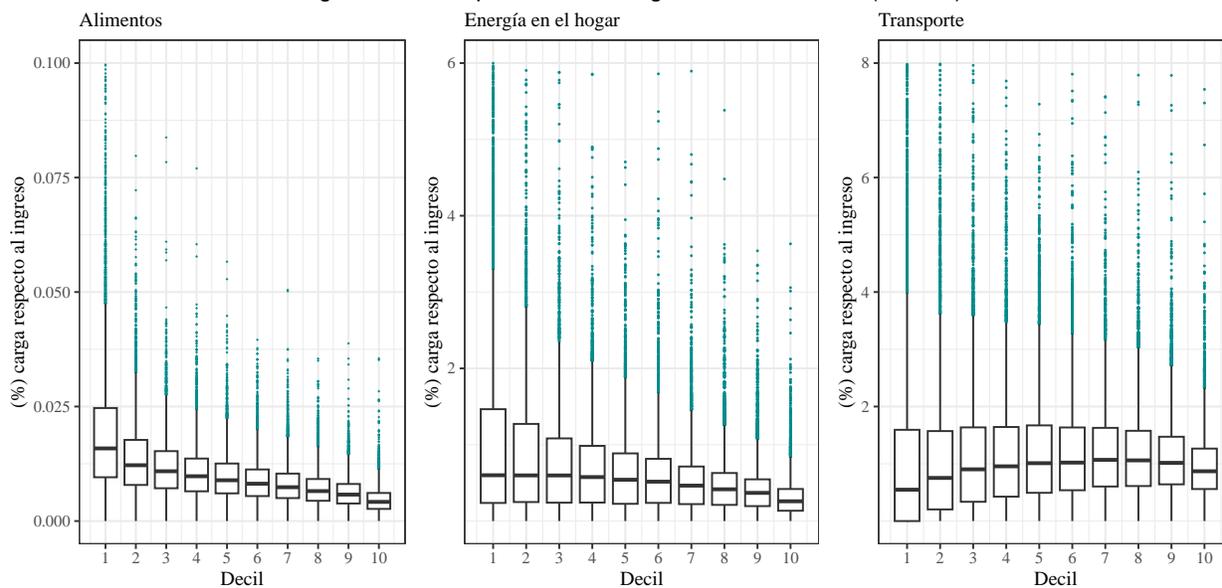
Sector No.	Sector	Toneladas	Toneladas anuales CO ₂ e (t/M\$)
211	Extracción de petróleo y gas	28232745.9	24.1992347
212	Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas	15163900.8	50.8361407
221	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica	168392244.9	411.2121021
311	Industria alimentaria	1616546.6	0.8870191
312	Industria de las bebidas y del tabaco	312441.5	0.8870191
322	Industria del papel	2420312.7	12.7005152
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	30929405.8	28.3436803
325	Industria química	15008560.7	15.5200628
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	30823829.8	118.6930698
331	Industrias metálicas básicas	18855350.7	29.1396742
332	Fabricación de productos metálicos	6742781.1	18.5040188
336	Fabricación de equipo de transporte	505341.9	0.2438023
485	Transporte terrestre de pasajeros, excepto por ferrocarril	163700020.3	249.9640580

Fuente:

Elaboración propia con datos de la matriz I-P y el INEGyCEI

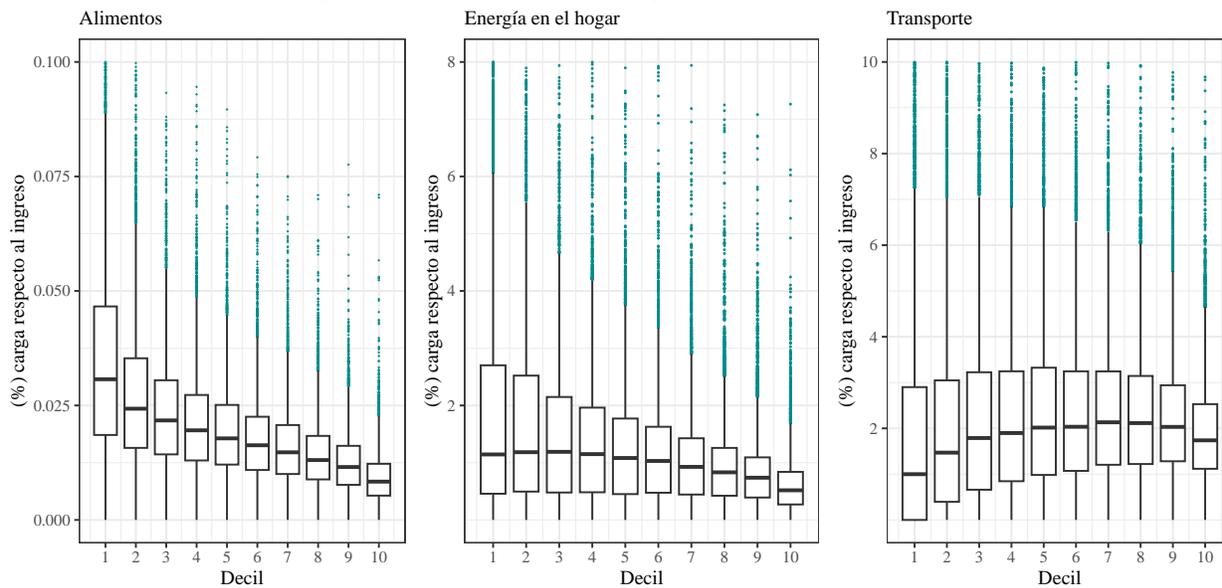
Anexo 2

Carga de carbono por destinos del gasto seleccionados (\$25usd)



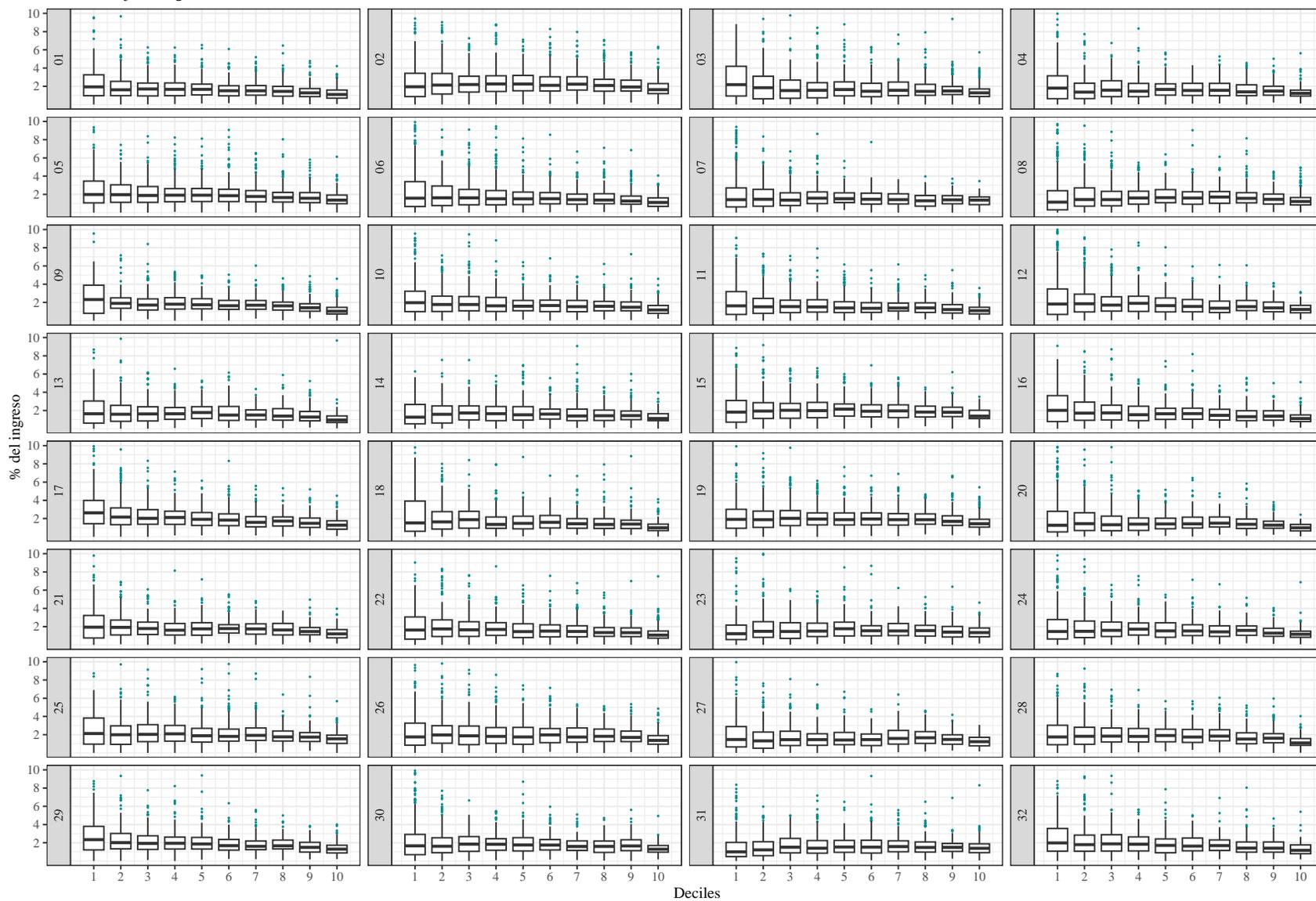
Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

Carga de carbono por destinos del gasto seleccionados (\$50usd)

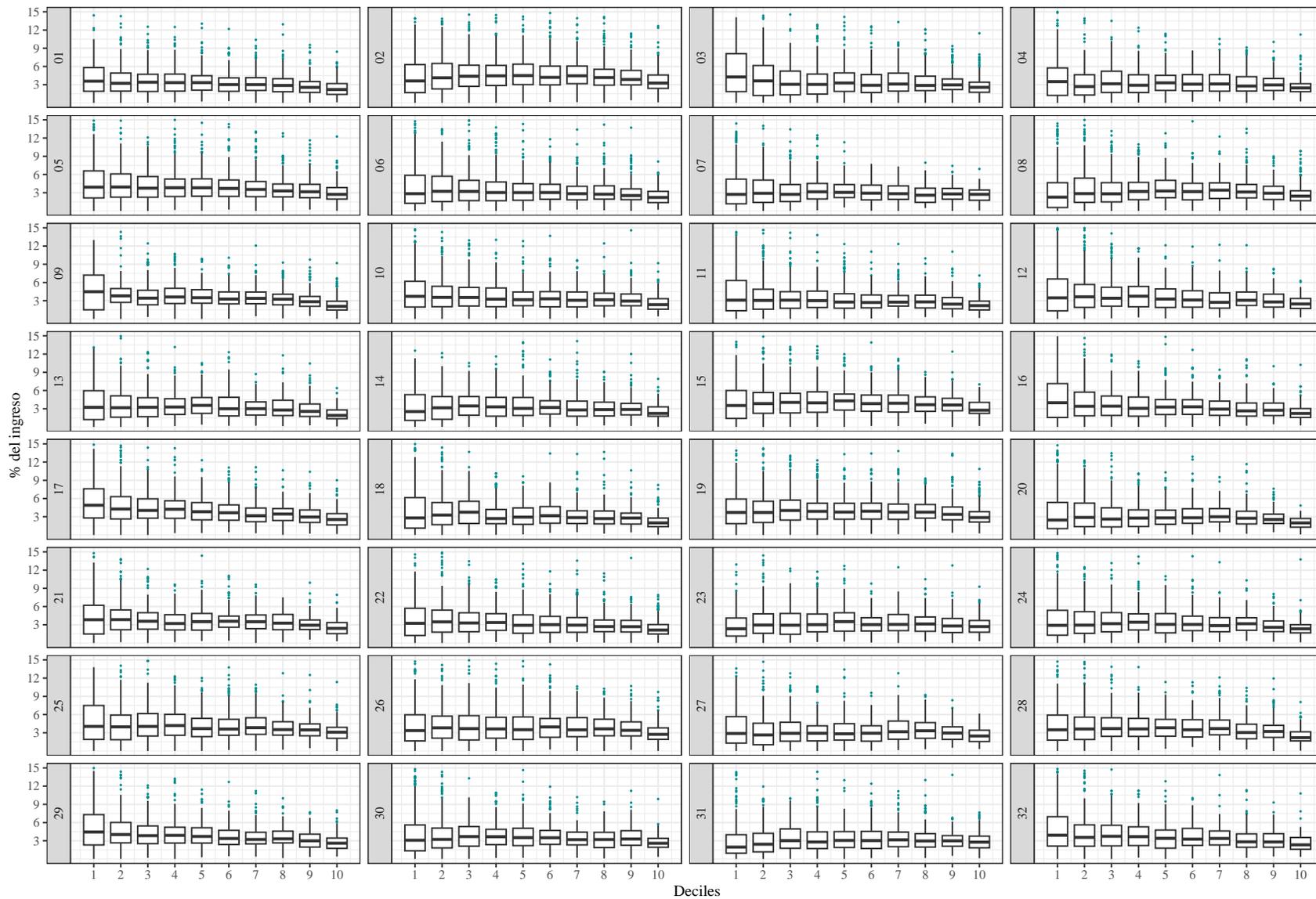


Fuente: Elaboración propia con datos de la ENIGH, la matriz I-P y el INEGyCEI

Carga de carbono por entidad federativa y por decil de ingreso (\$25usd)
 Porcentaje del ingreso



Carga de carbono por entidad federativa y por decil de ingreso (\$50usd)
 Porcentaje del ingreso



Referencias

- Black, S., Parry, I., Roaf, J., & Zhunussova, K. (2021). Not Yet on Track to Net Zero: The Urgent Need for Greater Ambition and Policy Action to Achieve Paris Temperature Goals. *Staff Climate Notes, 2021/05*, 33.
- Boyce, J. K. (2022). Carbon Pricing and Climate Justice. *The Routledge Handbook of the Political Economy of the Environment*.
- Burtraw, D., Sweeney, R., & Walls, M. (2009). The Incidence of U.S. Climate Policy: Alternative Uses of Revenues from a Cap-and-Trade Auction. *National Tax Journal, 62*(3), 497–518. <https://doi.org/10.17310/ntj.2009.3.09>
- Cavalcanti, T., Hasna, Z., & Santos, C. (2021). *Climate Change Mitigation Policies: Aggregate and Distributional Effects*. Energy Policy Research Group, University of Cambridge.
- Chancel, L. (2020). *Unsustainable inequalities: Social justice and the environment* (1st edition). The Belknap Press of Harvard University Press.
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., & Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters, 8*(2), 024024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024>
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics, 4*(3), 66–95. <https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2014). What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature. *Journal of Economic Literature, 52*(3), 740–798.
- DOF. (2019). Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones. *Cámara de Diputados Del H. Congreso de La Unión*.
- DOF. (2020). Ley General de Cambio Climático. *Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión*, 64.
- Ekens, P., Pollitt, H., Barton, J., & Blobel, D. (2011). The implications for households of environmental tax reform (ETR) in Europe. *Ecological Economics, 70*(12), 2472–2485. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.004>

- Feindt, S., Kornek, U., Labeaga, J. M., Sterner, T., & Ward, H. (2021). Understanding regressivity: Challenges and opportunities of European carbon pricing. *Energy Economics*, *103*, 105550. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105550>
- Feng, K., Hubacek, K., Liu, Y., Marchán, E., & Vogt-Schilb, A. (2018). *Efectos distributivos de los impuestos a la energía y de la eliminación de los subsidios energéticos en América Latina y el Caribe* ({Working Paper} IDB-WP-947). IDB Working Paper Series. <https://doi.org/10.18235/0001331>
- Fremstad, A., & Paul, M. (2017). A distributional analysis of a carbon tax and dividend in the United States. *Political Economy Research Institute Working Paper*, *434*, 43.
- Gao, Y., Li, M., Xue, J., & Liu, Y. (2020). Evaluation of effectiveness of China's carbon emissions trading scheme in carbon mitigation. *Energy Economics*, *90*, 104872. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104872>
- Gobierno de México, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México* (Versión actualizada 2020).
- Gonzalez, F. (2012). Distributional effects of carbon taxes: The case of Mexico. *Energy Economics*, *34*(6), 2102–2115. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.03.007>
- González, P. del R., & Labandeira, X. (2008). El Sistema Europeo de Comercio de Emisiones: Diseño, Funcionamiento y Perspectivas. In *Economic Reports* (No. 19-08). FEDEA.
- Goulder, L. H., Hafstead, M. A. C., Kim, G., & Long, X. (2019). Impacts of a carbon tax across US household income groups: What are the equity-efficiency trade-offs? *Journal of Public Economics*, *175*, 44–64. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2019.04.002>
- Goulder, L. H., & Parry, I. W. H. (2008). Instrument Choice in Environmental Policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, *2*(2), 152–174. <https://doi.org/10.1093/reep/ren005>
- Grainger, C., & Kolstad, C. D. (2010). Who Pays a Price on Carbon. *Environmental and Resource Economics*, *46*(3), 359–376. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9345-x>
- Hahn, R. W., & Stavins, R. N. (1992). Economic Incentives for Environmental Protection: Integrating Theory and Practice. *The American Economic Review*, *82*(2), 464–468.
- Hernandez-Cortes, D., & Meng, K. (2020). Do environmental markets cause environmental injustice? Evidence from California's Carbon Market. *National Bureau of Economic*

Research, Working Paper 27205.

- Hernandez-Cortes, D., & Rosas-López, E. (2022). The Environmental Justice Dimension of the Mexican Emissions Trading System. *Towards an Emissions Trading System in Mexico: Rationale, Design and Connections with the Global Climate Agenda*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82759-5>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990 - 2019*.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Bases*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers* (ARVI WGIII). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N. C., Pesaran, M. H., Raissi, M., & Yang, J.-C. (2021). Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis. *Energy Economics*, 105624. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105624>
- Kaswan, A. (2021). *Climate Justice and the Social Pillar in California's Climate Policies*.
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 18(3), 105–125. <https://doi.org/10.2307/1927837>
- Manabe, S., & Broccoli, A. (2020). *Beyond Global Warming*.
- Metcalf, G. E. (2019). *Paying for Pollution: Why a Carbon Tax is Good for America*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190694197.001.0001>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (Second). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
- Molina, M., Sarukhán, J., & Carabias, J. (2017). *El cambio climático. Causas, efectos y soluciones* (Primera edición). Fondo de Cultura Económica.
- Moz-Christofolletti, M. A., & Pereda, P. C. (2021). Winners and losers: The distributional impacts of a carbon tax in Brazil. *Ecological Economics*, 183, 106945. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>
- Nordhaus, W. (2011). The architecture of climate economics: Designing a global agreement on global warming. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 67(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>

1177/0096340210392964

Nordhaus, W. (2008). *Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies* (New Haven & London). Yale University Press.

Nordhaus, W. (2013). *The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press.

Nordhaus, W. (2021). *The Spirit of Green* (1st Edition). Princeton University Press.

OIT. (2021). *Preguntas frecuentes sobre transición justa* [Documento]. http://www.ilo.org/global/topics/green-jobs/WCMS_824947/lang-es/index.htm.

Perman, R., Ma, Y., Common, M., Maddison, D., & McGilvray, J. (2011). *Natural Resource and Environmental Economics* (Fourth). Pearson Education Limited.

Rausch, S., Metcalf, G. E., & Reilly, J. M. (2011). Distributional impacts of carbon pricing: A general equilibrium approach with micro-data for households. *Energy Economics*, 33, S20–S33. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.023>

Renner, S. (2018). Poverty and distributional effects of a carbon tax in Mexico. *Energy Policy*, 112, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.011>

Saelim, S. (2019). Carbon tax incidence on household consumption: Heterogeneity across socio-economic factors in Thailand. *Economic Analysis and Policy*, 62, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2019.02.003>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). Programa de prueba del sistema de comercio de emisiones [Gubernamental]. In *Calidad del Aire*.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Ambito de aplicación del Sistema de Comercio de Emisiones en México*. Semarnat.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Contribución Determinada a Nivel Nacional. Actualización 2022*.

Stavins, R. N. (2007). A U.S. Cap-and-Trade System to Address Global Climate Change. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1026353>

Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 98(2), 1–37. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>

Stiglitz, J. E. (2019). Addressing climate change through price and non-price interventions.

European Economic Review, 119, 594–612. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2019.05.007>

UNDP. (2022). *How Just Transition Can Help Deliver the Paris Agreement* (p. 61). United Nations Development Programme.

World Bank. (2021). *State and Trends of Carbon Pricing 2021* [Serial]. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1728-1>

Wu, L., Zhang, S., & Qian, H. (2021). Distributional effects of China's National Emission Trading Scheme with an emphasis on sectoral coverage and revenue recycling. *Energy Economics*, 105770. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105770>