



EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

LICENCIATURA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN ECONOMÍA

ANÁLISIS DEL IMPUESTO AL CARBONO EN MÉXICO Y SU IMPACTO AMBIENTAL

VERÓNICA AGUILERA ÁLVAREZ

PROMOCIÓN 2018 – 2022

ASESORA:

DRA. LAURA JUÁREZ GONZÁLEZ

JUNIO 2023

AGRADECIMIENTOS

A mi padre y mi madre, Gustavo y Verónica, quienes me guiaron y apoyaron, con amor y sabiduría infinitas, durante este largo camino.

A mi hermana, Adriana, quien estuvo a mi lado y me alentó incondicionalmente.

No habría logrado esto sin ustedes.

Y al Colegio de México y el Pueblo Mexicano, que me dieron la oportunidad de recibir educación pública de excelencia.

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis empírico sobre el impacto ambiental del impuesto al carbono en México, con el objetivo de proveer evidencia sobre si el gravamen está realmente cumpliendo con su meta: reducir la contaminación, medida por las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). Y, con base en el resultado, proporcionar un marco para guiar la política ambiental mexicana. La importancia del presente análisis respecto a la literatura existente radica en que, hasta el momento, no hay otros estudios que analicen la efectividad ambiental del impuesto al carbono en México.

Para evaluar el efecto del impuesto en México, se realizó un análisis de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y CO₂ con base en los datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI). Este incluyó un análisis estadístico y un análisis econométrico. Para el segundo, se empleó un modelo de Diferencias en Diferencias (DD) complementado con un modelo de Estudio de Evento (EE).

Los resultados del análisis econométrico proveen evidencia sugestiva de que el impuesto al carbono no ha sido efectivo en la reducción de las emisiones de CO₂. Aunque el modelo de DD se limita a proveer evidencia, los resultados sugieren que existe una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂, sin embargo, no se encontró evidencia sólida de que las emisiones reales estén disminuyendo. Mientras que el EE sugiere que el cambio en las emisiones puede deberse otra política relacionada con el medio ambiente, como es el impuesto a los combustibles automotrices.

Con base en los resultados, se propone como política pública aumentar la tasa impositiva a los combustibles fósiles, tal que el precio por tonelada métrica del carbono sea de al menos 40 dólares. Además, de que es necesario establecer un uso de los recursos obtenidos mediante el impuesto, enfocado en políticas que reduzcan las emisiones de los sectores más contaminantes, como son la inversión en eficiencia energética, mejoras tecnológicas y mejoras al transporte público.

ÍNDICE

Introducción	3
Impuesto al carbono en México	7
Metodología empírica	10
Datos	10
Modelo de Diferencias en Diferencias	12
Análisis	15
Análisis estadístico	16
Análisis econométrico	26
Resultados	29
Implicaciones de Política	31
Conclusiones	34
Anexo	36
Bibliografía	45
Índice de tablas	49
Índice de gráficas	50

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un análisis empírico sobre el impacto ambiental del impuesto al carbono en México, con el objetivo de proveer evidencia sobre si el gravamen está realmente cumpliendo con su objetivo: reducir la contaminación, medida por las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). Y con base en el resultado, proporcionar un marco para guiar la política ambiental mexicana. La importancia del presente análisis respecto a la literatura existente radica en que, hasta el momento, no hay otros estudios que analicen la efectividad ambiental del impuesto al carbono en México. En general, la literatura que efectúa investigaciones similares se enfoca en estudiar el caso de países del norte del Europa (Haites et al., 2018; Bruvoll y Larsen, 2004; Lin y Li, 2011; Bonilla et al., 2022; Runst y Thonipara, 2020; Andersson, 2019; y Elbaum, 2021), o en el impacto económico del impuesto y no en el impacto sobre las emisiones (Reynoso y Montes, 2016; Goulder et al., 2019; Fremstad y Paul, 2017; y Jorgenson y Ho, 2018).

El concepto del impuesto al carbono surgió en la década de 1970 (Timilsina, 2022) y fue con el trabajo de Larry Goulder y Robert N. Stavins que comenzaron las investigaciones sobre su formulación e implementación (Goulder, 1992; y Stavins, 1991). Además, de que también fueron los primeros en realizar evaluaciones del impuesto y su impacto sobre los dobles dividendos (Goulder, 1995) y la competencia (Stavins et al., 1995), respectivamente.

Desde entonces, los economistas han caracterizado el cambio climático como una externalidad negativa generada por una falla de mercado que no contempla los costos asociados a las emisiones de GEI y CO₂ (Goulder, 2020). Teóricamente, establecer un precio al carbono a través de un impuesto pigouviano es la forma más eficiente para reducir las emisiones de CO₂, siempre y cuando el precio se fije a la misma tasa que el daño causado por las emisiones (Kojima y Asakawa, 2016; y Metcalf, 2019). Así, si los costos de transacción son lo suficientemente bajos, se pueden alcanzar las metas de control de la contaminación a un costo mínimo (Schmalensee, 2016).

Además de que tienen efectos indirectos que ayudan a reducir aún más los GEI y combatir el cambio climático. Lin y Li (2011) afirman que los impuestos promueven cambios en las estructuras de producción, el ahorro de energía, e inversión en la mejora de la eficiencia energética. Andersen (2010) afirma que proporcionan incentivos tanto en reducir la demanda de combustibles fósiles, como en aumentar su sustitución por combustibles neutros en carbono. Por ello, actualmente el

impuesto al carbono se ha convertido en una de las principales políticas ambientales para combatir la contaminación.

Sin embargo, existen limitaciones en este tipo de impuestos. Ya que este mecanismo recae en la estimación del nivel de compensación necesario para internalizar la externalidad, no hay garantía de que la tasa impositiva iguale al daño marginal. Es muy optimista asumir que los encargados de establecer las políticas tengan toda la información necesaria para hacerlo (Bertacchini, 2008). Por lo que, para aplicar el impuesto hay que medir las externalidades con base en variables observables y medibles. Cabe resaltar que existen otros efectos, posiblemente adversos, de los impuestos al carbono en áreas como la competencia, el desarrollo económico y la progresividad. Sin embargo, dichos efectos quedan fuera de la línea de investigación de este estudio.

Dado que el objetivo primordial de estos impuestos es reducir las emisiones de GEI, el criterio principal para medir su funcionamiento es la eficacia ambiental (Haïtes et al, 2018). Esto, debido a que un análisis cuidadoso de los impuestos al carbono en términos de sus impactos sobre la reducción de emisiones como en otras variables provee la información necesaria para el desarrollo y la mejora de políticas (Shah y Larsen, 2014; y Fujiwara et al, 2018).

La OCDE distingue entre análisis ex ante y ex post de los instrumentos económicos en las políticas medioambientales (Andersen et al., 2002), donde los primeros se basan en proyecciones y los segundos en análisis posteriores, es decir, evaluaciones reales. Así, los análisis ex post proporcionan pruebas más sólidas sobre la eficacia ambiental y económica de los instrumentos de política. Por ello, en los últimos años se ha centrado la atención en esta clase de estudios (Haïtes et al., 2018; Bruvoll y Larsen, 2004; Lin y Li, 2011; Bonilla et al., 2022; Runst y Thonipara, 2020; Andersson, 2019; y Elbaum, 2021).

Por tal motivo, el presente trabajo busca estimar el impacto ambiental del impuesto al carbono en México. Realizando un análisis ex post del gravamen, y contribuyendo así a la evidencia empírica sobre el funcionamiento del impuesto en el país y las implicaciones de política pública a las que conlleva.

Para evaluar el efecto del impuesto en México, se realizó un análisis de las emisiones de GEI y CO₂ con base en los datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI). Esta base de datos incluye las estimaciones de las emisiones y

absorciones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) por fuentes y sumideros para los cuatro sectores de emisión definidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés): 1. Energía; 2. Procesos industriales; 3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; y 4. Residuos. El análisis incluyó estadísticas descriptivas, incorporando un método de comparación de Tasas de Crecimiento Anual (TCA) y un modelo de Diferencias en Diferencias (DD) complementado con un modelo de Estudio de Evento (EE).

Siguiendo a Elgie y McClay (2013) que realizan un análisis comparativo de la evolución de las emisiones de GEI en Columbia Británica contra el resto de Canadá para evaluar el impacto del impuesto al carbono en la provincia analizando la diferencia de las TCA de ambas regiones, en este trabajo se tomaron las TCA de las emisiones de CO₂ por sectores para analizar sus cambios. Sin embargo, para estimar las variaciones por el efecto del impuesto se tomaron los sectores Energía, debido a que es aquel que está gravado, y “Otros” que agrega los sectores Industrias y Residuos, ya que el impuesto no les aplica. Así, al igual que en el estudio referido se compararon los sectores afectados contra los no afectados por el impuesto.

De igual forma, la metodología empírica sigue parte de la literatura principal de evaluaciones ex post existente. Lin y Li (2011), Pretis (2022), Runst y Thonipara (2020), y Ahmadi et al. (2022) evaluaron la eficiencia del impuesto al carbono (en distintos países) usando modelos de DD, donde la variable dependiente fue la tasa de crecimiento de las emisiones per cápita de CO₂, el logaritmo natural de las emisiones de CO₂, las emisiones per cápita de CO₂ y el logaritmo de las emisiones de GEI, respectivamente. Además, todos los estudios incluyeron controles como el PIB per cápita, la intensidad de energía, población y efectos fijos de cada país o sector analizado.

En general, la literatura que no emplea modelos de DD realiza análisis contrafactuales utilizando el Método de Control Sintético (SCM, por sus siglas en inglés), como es el caso de Andersson (2019) y Elbaum (2021). O modelos de equilibrio como Bruvoll y Larsen (2004) y Bonilla et al. (2022).

En contraste con la literatura empírica, este trabajo empleó un modelo DD para estimar el impacto del gravamen sobre el medio ambiente. Sin embargo, contrario a los estudios de Lin y Li (2011), Runst y Thonipara (2020), Pretis (2022), y Ahmadi et al. (2022), el modelo se realizó sin controles, debido a la falta de datos para el caso de México. Además, la variable dependiente fue el logaritmo

natural de las emisiones de CO2 siguiendo a Bonilla et al. (2022) para un modelo de DD de largo plazo y a Pretis (2022).

Los resultados del análisis proveen evidencia sugestiva de que el impuesto al carbono no ha sido efectivo en la reducción de las emisiones de CO2. Las estadísticas descriptivas no muestran que exista una disminución de las emisiones de CO2 en el sector gravado o un cambio importante en la tendencia posterior a la implementación. La comparación de las TCA tampoco muestra un cambio en la tendencia comparada a la anterior al impuesto, un decremento de la tasa posterior al 2014 o una diferencia negativa entre los sectores. Aunque el modelo de DD se limita a proveer evidencia, los resultados sugieren que existe una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO2, sin embargo, no se encontró evidencia sólida de que las emisiones reales estén disminuyendo. Mientras que el EE sugiere que el cambio en las emisiones puede deberse otra política relacionada con el medio ambiente, como es el impuesto a los combustibles automotrices.

Los resultados concuerdan con los de los estudios empíricos que han utilizado el método de DD (Lin y Li, 2011; Pretis, 2022; Runst y Thonipara, 2020; y Ahmadi et al., 2022), debido a que estos concluyen que el impacto de la política es mínimo. Por lo tanto, ineficiente en su función de reducir los niveles de contaminación.

Cabe resaltar que el modelo presenta limitaciones por la existencia de datos y el estimador de DD se realizó sin controlar por otras variables. A pesar de que el modelo de DD se corrigió por el método de White (*cluster*), el número de unidades de la muestra no fue lo suficientemente grande, por lo que se tuvo que ajustar la inferencia. Para este último ejercicio se aplicó un procedimiento Wild Cluster Bootstrap (WCB, Cameron et al., 2006). Sin embargo, el ajuste de WCB arrojó un *valor p* que no es estadísticamente significativo. Por ello, se aclara que los resultados obtenidos se limitan a proveer evidencia sugestiva del impacto del impuesto en las emisiones de CO2.

A pesar de las limitaciones existentes, con base en lo encontrado en el análisis se propone como política pública aumentar la tasa impositiva a los combustibles fósiles. Para ello, primero se sugiere homogeneizar la tasa aplicada a los distintos combustibles, ya que estudios han arrojado que es la forma más eficiente de establecer el impuesto (Conefrey et al., 2008). Y segundo, con base en las estimaciones del Banco Mundial (2021b) y del FMI (2022) se propone que el precio por tonelada métrica del carbono sea de al menos 40 dólares. Debido a que ambas organizaciones han calculado que este es el precio mínimo para alcanzar disminuciones importantes de las emisiones de CO2 en

México. Además, de que es necesario establecer un uso de los recursos obtenidos mediante el impuesto, enfocado en políticas que reduzcan las emisiones de los sectores más contaminantes, como son la inversión en eficiencia energética, mejoras tecnológicas y mejoras al transporte público.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la Sección II se presenta el impuesto al carbono en México. En la Sección III se presentan la metodología empírica y los datos utilizados. En la sección IV se presenta el análisis estadístico y empírico, con los resultados del modelo. En la Sección V se presentan las implicaciones de política pública ambiental. La sección VI concluye. Por último, la sección VII presenta un Anexo con las subfuentes de emisión de CO₂ utilizadas en la base de datos y los resultados del EE.

II. IMPUESTO AL CARBONO EN MÉXICO

Dado que la política ambiental mexicana es relativamente reciente (Ávila et al., 2011), los antecedentes legislativos de su fiscalidad ambiental no existen como tales (Figueroa, 2005). Ávila et al. (2011) reconocen que no fue hasta 1996 que surgió la discusión legislativa y académica de los impuestos ambientales en México, especialmente con la implementación de la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Figueroa, 2005). Y casi diez años más tarde (2005), por primera vez se instituyó un impuesto ambiental en el país: el Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN).

A pesar de este avance en la política ambiental, fue hasta el 2014 cuando se implementó un impuesto a los combustibles fósiles como parte de las acciones de México para establecer un mercado de carbono (SEMARNAT, 2017). Y posteriormente, en el 2016, que se estableció un impuesto a los combustibles automotrices, complementando la fiscalidad ambiental.

Sin embargo, de estas medidas existentes la que grava los combustibles fósiles es la de primordial atención. Esto, debido a que su objetivo principal es reducir los niveles de contaminación, mientras que el de las otras es generar ingresos al erario público (Suprema Corte de Justicia de la Nación, 2013).

El impuesto al carbono, o a los combustibles fósiles, quedó establecido en la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) y grava por la enajenación e importación de

combustibles fósiles y sus mezclas de acuerdo con su contenido de carbono, basándose en el principio fundamental de “quien contamina paga” (Suprema Corte de Justicia de la Nación, 2013).

Específicamente, grava un total de 10 combustibles fósiles con distintas cuotas que se aplican sobre una unidad de medida en específico, a saber, por litro o por tonelada (Ley del impuesto especial sobre producción y servicios, 2021). Y cuyo valor está determinado por el potencial de emisiones de dióxido de carbono de los combustibles fósiles que se grava al momento de su combustión (Piquero et al., 2021). Para ello, se usa como medida el CO2 porque es el gas más relevante que emite México, con 71% de las emisiones totales (INECC, 2018). Además, este gravamen sólo considera contribuyentes de este impuesto a los fabricantes, productores o importadores de los combustibles fósiles, es decir, es un impuesto aguas arriba.

Tabla 1: Combustibles fósiles gravados en México

Combustible	Cuota	Unidad de Medida
Propano	8,2987	centavos por litro
Butano	10,7394	centavos por litro
Gasolinas y gasavión	14,556	centavos por litro
Turbosina y otros kerosenos	17,3851	centavos por litro
Diesel	17,6624	centavos por litro
Combustóleo	18,8496	centavos por litro
Coque de petróleo	21,8784	pesos por tonelada
Coque de carbón	51,2901	pesos por tonelada
Carbón mineral	38,6201	pesos por tonelada
Otros combustibles fósiles	55,8277	pesos por tonelada de carbono que contenga el combustible

Fuente: Elaboración propia con información de Ley del impuesto especial sobre producción y servicios 2021.

La Tabla 1 muestra los combustibles fósiles que grava la Ley, así como las cuotas y unidades de medida más recientes, publicadas en 2021 y en vigor para el 2022. Se observa que, de los 10 combustibles, el propano es el que cuenta con la cuota más baja de 8.2987 centavos por litro. Contrario a otros combustibles fósiles con la cuota más alta de 55.8277 pesos por tonelada de carbono que contiene el combustible.

Para conocer el contenido de carbono de cada combustible, se utilizan los factores de emisión publicados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Es decir, se establece el contenido de carbono en cada combustible de acuerdo con sus características fisicoquímicas. Por lo que los valores señalados por el IPCC no se modifican con el tiempo (Suprema Corte de Justicia de la Nación, 2013).

Cabe resaltar que la Ley no considera dentro de otros combustibles fósiles los siguientes productos: parafinas, materia prima para negro de humo, residuo largo, asfaltos, aceite cíclico ligero, aceites (lubricantes) básicos, lubricantes, propileno, propileno grado refinería y propileno grado químico, debido a que no se destinan a un proceso de combustión. Tampoco se aplica el impuesto cuando se utiliza petróleo para la manufactura y no para su combustión, por ejemplo, para la producción de plásticos (Piquero et al., 2021). Y se excluyó el gas natural de los combustibles gravables. Por lo que no se trata de un impuesto sobre el contenido total de carbono de los combustibles, sino sobre el contenido adicional de emisiones de CO₂ en comparación con el gas natural (Banco Mundial, 2021a).

Entonces, la recaudación de este impuesto se concentra en la producción de hidrocarburos y la venta de gasolinas, diésel y combustóleo. Por lo que principalmente, impacta directamente a los productores de los combustibles y las gasolineras, e indirectamente al transporte particular, público y empresarial. Así, esta modalidad de IEPS tiene como objetivo principal desincentivar el consumo de combustibles en la población, básicamente por el incremento en su precio. Todo ello con la intención de contribuir a mitigar las emisiones nacionales de GEI (SEMARNAT, s/f), donde se busca que pague el costo social quien utilice un elemento que dañe a la atmósfera (Cámara de Diputados, s/f). De acuerdo con el Banco Mundial (2021a), el impuesto cubre aproximadamente el 40% de las emisiones totales de GEI del país.

Cuando se planteó la iniciativa del impuesto al carbono en México, durante la Segunda Cumbre Mundial de Legisladores “Globe International”, se previó recaudar cerca de mil millones de dólares anuales que serían utilizados en combatir la contaminación y mitigación de los efectos de los GEI (Cámara de Diputados, s/f). Aunado a que, en la Exposición de motivos del impuesto, se estableció que los recursos adicionales que se generasen permitirían invertir en eficiencia energética, mejores tecnologías y mejor transporte público. Sin embargo, actualmente no se ha

implementado ninguna política que destine la recaudación del impuesto a mitigar el cambio climático.

III. METODOLOGÍA EMPÍRICA

DATOS

Los datos utilizados para el análisis descriptivo se obtuvieron, principalmente, del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019 (INEGyCEI). Esta base de datos es un inventario a nivel nacional de GEI que se basa en las directrices establecidas por el IPCC en 2006 y su posterior refinamiento en 2019, para hacer la estimación de las emisiones de los gases.

Incluye las estimaciones de las emisiones y absorciones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) por fuentes y sumideros para los cuatro sectores de emisión definidos por el IPCC:

1. Energía
2. Procesos industriales
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
4. Residuos

También, informa los seis gases establecidos en el Protocolo de Kioto: Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Además de las emisiones de trifluoruro de nitrógeno (NF₃) y carbono negro (SEMARNAT e INECC, 2022).

A continuación, se presentan las descripciones de los sectores que incluye la base de datos. Debido a que el sector Energía es el sector afectado por el impuesto al carbono, sólo se presenta una descripción desglosada de los subsectores de esta categoría. La descripción del resto de sectores se presenta de forma agregada. Todas las descripciones de las categorías presentadas fueron tomadas de SEMARNAT e INECC (2022).

1. *Energía*: Este sector incluye las derivadas del consumo energético de los combustibles fósiles y de las emisiones fugitivas. No incluye las emisiones del transporte y almacenamiento de

CO₂. Las emisiones generadas en las actividades de la industria por el uso de combustibles fósiles con motivos energéticos y no como parte del proceso productivo se reportan en este sector.

- 1.1 *Industrias de la energía*: Incluye las emisiones de GEI por el aprovechamiento energético de los combustibles para la generación de energía eléctrica, refinación, fabricación de combustibles sólidos y todas aquellas actividades que demandan combustibles fósiles dentro de las cadenas de producción de petróleo y gas natural.
- 1.2 *Industrias manufactureras y de la construcción*: Incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético dentro del sector industrial. Incluye los procesos de generación de energía eléctrica y calor para uso propio dentro de las industrias.
- 1.3 *Transporte*: Incluye las emisiones de GEI procedentes de la combustión de combustibles fósiles utilizados en las actividades de transporte aéreo, terrestre y marítimo.
- 1.4 *Otros sectores*: Incluye las emisiones de GEI de las actividades correspondientes al sector Comercial Institucional, Residencial y Agropecuario, silvicultura, pesca y piscifactorías.
- 1.5 *Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles sólidos*: Incluye las emisiones fugitivas que ocurren durante la extracción o minado, producción, procesamiento, manejo y utilización del carbón.
- 1.6 *Emisiones fugitivas de petróleo y gas*: Incluye las emisiones fugitivas debido a la liberación de GEI durante la extracción, procesamiento y entrega de petróleo y gas natural al punto de utilización final.
2. *Procesos industriales y uso de productos, PIUP*: Incluye las emisiones provenientes de la fabricación y uso de productos en las industrias de los minerales, química, metales, uso no energético de combustibles y disolventes, electrónica, fabricación de equipos eléctricos, pulpa y papel.
3. *Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*: Incluye tanto las emisiones como absorciones de GEI en estos sectores.
4. *Residuos*: Incluye las emisiones por eliminación, incineración y tratamiento biológico de residuos; así como del tratamiento y eliminación de aguas residuales.

A pesar de seguir la misma metodología en el tiempo para medir las emisiones de GEI, el INEGyCEI se modificó sustancialmente a partir del año 2000. Los datos 1990 a 1999 no

contabilizaban las absorciones de GEI. A partir del año 2000 las absorciones se empezaron a tomar en cuenta, lo que redujo significativamente el nivel de las emisiones totales. Cabe señalar que el sector que genera las absorciones es de la Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, el resto de los sectores genera únicamente emisiones. Aunque el resto de la metodología no cambió, para evitar sesgar el análisis, las emisiones de este periodo, o del sector Agricultura, no se contemplan en algunas partes del análisis.

Las emisiones de carbono negro tampoco se toman en cuenta para este trabajo, debido a que no son relevantes para el análisis y el Inventario las contabiliza de forma separada.

En el Inventario cada sector se divide en subsectores, que a su vez se dividen en fuentes y éstas en subfuentes de emisiones. En el Anexo se encuentran todas las clasificaciones desglosadas de la base de datos.

MODELO DE DIFERENCIAS EN DIFERENCIAS

Dado que el objetivo es conocer el impacto del impuesto sobre el medio ambiente, es decir, identificar el efecto de un cambio exógeno sobre una variable dependiente, se utilizó un modelo de Diferencias en Diferencias (DD) para realizar el análisis empírico. Donde el cambio es el impuesto al carbono y la variable dependiente las emisiones de CO₂.

El impuesto al carbono en México grava las subfuentes de emisiones de CO₂ que pertenecen al sector Energía del INEGyCEI. Sin embargo, el impuesto no contempla las emisiones generadas por gas natural. Por ello, no grava cuatro subfuentes pertenecientes a este sector: Gas natural, Venteo gas natural, Quemado gas natural y Otras fugitivas gas natural.

Para realizar el modelo se tomaron los datos del INEGyCEI 1990-2019. Sin embargo, se excluyeron las siguientes emisiones. Primero, las cuatro subfuentes del sector Energía que no grava el impuesto. Segundo, todas las emisiones del sector Agricultura. Ya que, como se mencionó anteriormente, a partir del año 2000 ha representado absorciones y no emisiones lo que sesgaría el estimador del modelo. Y tercero, las emisiones agregadas de los sectores, fuentes y subfuentes, para evitar una doble contabilización.

El impuesto entró en vigor en 2014. Por ello, para el modelo se tomaron dos periodos. El primero, “antes” del tratamiento que va de 1990 a 2013. Y el segundo, “después” del tratamiento que va de 2015 a 2019. Esto dejó un total de 60 observaciones por año, a lo largo de 29 años.

Con base en estos datos se definieron dos grupos para el modelo. En el grupo de tratamiento se contabilizaron las emisiones de CO2 de las subfuentes pertenecientes al sector Energía. Y en el grupo de control se tomaron las emisiones de las subfuentes pertenecientes a los sectores Industriales y Residuos.

Así, el modelo de DD estima el efecto de implementar el impuesto al carbono comparando las emisiones de las subfuentes a las que les aplica el impuesto y aquellas a las que no.

Para la ecuación a estimar, el indicador binario de tratamiento para las subfuentes se definió como:

$$\omega = \begin{cases} 1 & \text{para emisiones de CO2 del sector Energía} \\ 0 & \text{para emisiones de CO2 del sector Otros} \end{cases}$$

Y el indicador binario para el periodo como:

$$\tau = \begin{cases} 1 & \text{para el periodo de 2015 a 2019} \\ 0 & \text{para el periodo de 1990 a 2013} \end{cases}$$

Sea Y la variable dependiente igual a la cantidad de emisiones de CO2 en gigagramos. $\text{Log}(Y)$ el logaritmo natural de las emisiones de CO2 y β_3 el coeficiente de DD, la ecuación a estimar es la siguiente:

$$\text{Log}(Y) = \beta_0 + \beta_1\omega + \beta_2\tau + \beta_3\omega*\tau + u$$

La variable dependiente se encuentra en logaritmo siguiendo a Bonilla et al. (2022) para un modelo de DD de largo plazo donde el regresando son las emisiones de CO2. Así como a Pretis (2022), que utiliza el logaritmo de CO2 como dependiente, para estimar los efectos del impuesto al carbono en las emisiones de CO2, usando una estimación de DD.

Sin embargo, las emisiones no solo aumentan o disminuyen debido a la regulación; también experimentan un desarrollo autónomo determinado por variables macroeconómicas y estructurales (Andersen et al., 2002). Por ello, idealmente el modelo incluiría controles a nivel sector para estimar un efecto más certero del impuesto. Estos controles incluyen variables que afecten el nivel de emisiones en cada sector. Principalmente variables *proxy* del desarrollo e innovación tecnológica. Estas pueden ser patentes o datos de la base del Instituto Mexicano de la Propiedad

Industrial, patentes internacionales, indicadores de exportación y/o importación de alta tecnología, o alguna medición del residual de Solow. Con el fin de capturar la mejora y eficiencia en los procesos de producción que hayan podido ayudar a disminuir los niveles de contaminación.

De acuerdo con la literatura empírica algunas de las variables más importantes a considerar son las siguientes. Una *proxy* que mida la intensidad energética (Bruvoll y Larsen, 2004; y Lin y Li 2011), y una que mida el precio de los combustibles fósiles (Haites et al., 2018; Runst y Thonipara, 2020; Green, 2021). Ya que en los estudios explican un porcentaje importante de la disminución de las emisiones de CO₂.

Sin embargo, debido a las limitaciones de datos, por el momento se realizó únicamente una estimación de DD sin controles. De acuerdo con Sen y Vollbergh (2018), ha sido difícil estudiar el impacto de los impuestos al carbono en todos los países que lo han implementado, debido principalmente a la falta de datos fiables. Además, según el Banco Mundial (2021a), los modelos están limitados principalmente por los datos. Por lo que solo pueden dar, en el mejor de los casos, una estimación de la dirección y magnitud del impacto que tienen los impuestos al carbono.

El modelo de DD se puede aprovechar puesto que el impuesto al carbono funge como un experimento natural. El impuesto genera variación exógena en el precio de los combustibles fósiles y el modelo permite identificar su efecto sobre las emisiones de CO₂. Además, dado que el experimento es un impuesto, los agentes de las subfuentes gravadas no pueden elegir participar o no. Por lo que el grupo de tratamiento está totalmente basado en la elegibilidad. Además, se cumple el supuesto básico de tendencias paralelas entre los grupos de tratamiento y control, por lo que el modelo de DD se puede aplicar con credibilidad.

Sin embargo, el modelo de DD genera correlación grupal y serial que provoca que los errores estándar se subestimen (Bertrand et al., 2002). Por ello, se usó una corrección de White (*cluster*) en la estimación de la varianza. Donde la unidad a la que se aplicó el tratamiento es el sector al que pertenecen las subfuentes de emisiones. Suponiendo así, que la correlación está entre los errores de las observaciones dentro de cada sector y dentro de cada uno de ellos en el tiempo, pero no entre los errores de las observaciones de distintos sectores.

Las principales limitaciones de este método son que al identificar el efecto total del cambio se requiere evidencia adicional para conocer qué mecanismos están generando el efecto estimado.

También, que para aumentar la credibilidad hay que realizar pruebas placebo entre el grupo de control donde uno de ellos sea el tratamiento. Finalmente, está el problema de las correlaciones mencionadas. Si bien, pueden corregirse usando White (*cluster*) se requiere que el número de unidades tienda al infinito, o en su defecto sea lo suficientemente grande. Sin embargo, esta investigación se ve limitada puesto que las unidades son pocas. Al tener sólo 4 sectores se tuvo que ajustar la inferencia. Para este último ejercicio se aplicó un procedimiento Wild Cluster Bootstrap (WCB, Cameron et al., 2006) para calcular el *valor p* corregido.

Además, con el objetivo de comprobar las tendencias paralelas y analizar el impacto que pudieron tener otras políticas en las emisiones de CO₂, se realizó un Estudio de Evento (EE). Un EE es un análisis econométrico de los efectos de un evento natural, como un impuesto, sobre un resultado (Wooldridge, 2009). Donde se compara la variación de los resultados en torno al periodo de adopción del evento usado como referencia. Y donde al igual que en el modelo de DD se puede corregir por *cluster* los errores estándar e intervalos de confianza en los parámetros de regresión (Clarke y Tapia, 2021).

Así, para estimar el EE se siguieron las mismas especificaciones del modelo de DD. Donde la variable dependiente es $\text{Log}(Y)$ igual al logaritmo natural de la cantidad de emisiones de CO₂ en gigagramos. Y las variables independientes son variables dicotómicas de cada año antes y después de la implementación del impuesto. Es decir, de 1990 a 2019. Una variable dicotómica que indica si una observación recibió el tratamiento, o se encuentra en el sector Energía. Y la interacción entre cada uno de los años y la indicativa de tratamiento. Excluyendo la interacción del año 2014, debido a que el impuesto se estableció en esa fecha. Además, se corrigió usando un *cluster* por sector de emisión de las subfuentes.

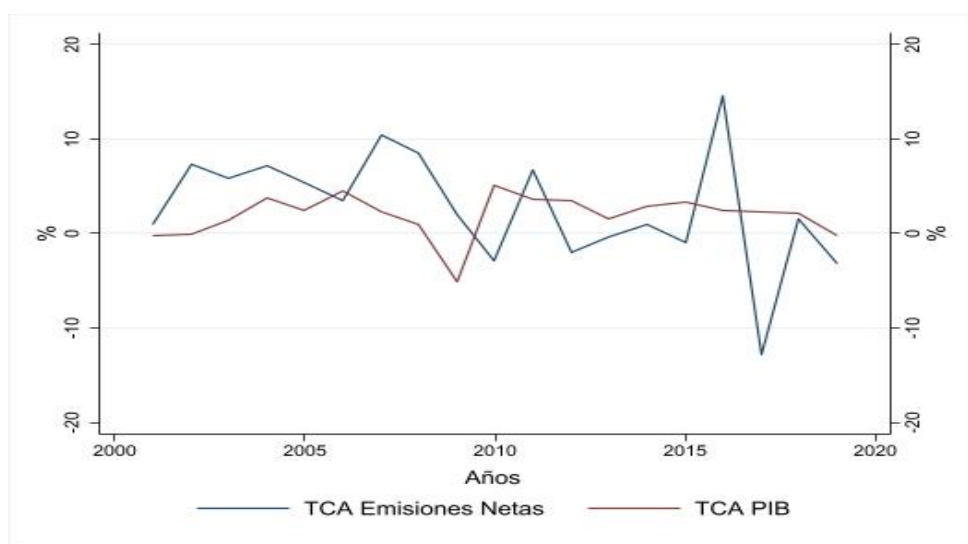
IV. ANÁLISIS

Esta sección contiene dos apartados. El primero, Análisis estadístico, describe las emisiones de CO₂ en México mediante el uso de estadística descriptiva y un método de comparación de TCA basado en el de Elgie y McClay (2013). El segundo, Análisis econométrico, presenta los resultados del modelo de DD complementado con el EE.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Algunos autores argumentan que las emisiones de GEI están directamente relacionadas con el comportamiento del PIB (Álcantara y Padiila, 2005; y SEMARNAT e INECC, 2022). Donde el segundo es uno de los principales factores que determina la variación de los primeros. En el caso de México, al analizar la Tasa de Crecimiento Anual (TCA) tanto de las emisiones de GEI como del PIB dicha relación parece no cumplirse. La Gráfica 1 muestra que el comportamiento de los GEI es similar al del PIB, pero con un rezago, entre el 2001 y el 2010. Sin embargo, a partir de este año la variación es distinta para ambos elementos. Mientras que la TCA del PIB se mantiene constante, la TCA de las emisiones presenta grandes variaciones tanto a la baja como al alta. Por ello, la política ambiental en México debe de tomar en cuenta esta falta de relación.

Gráfica 1: TCA de Emisiones netas de GEI y PIB, 2001-2019



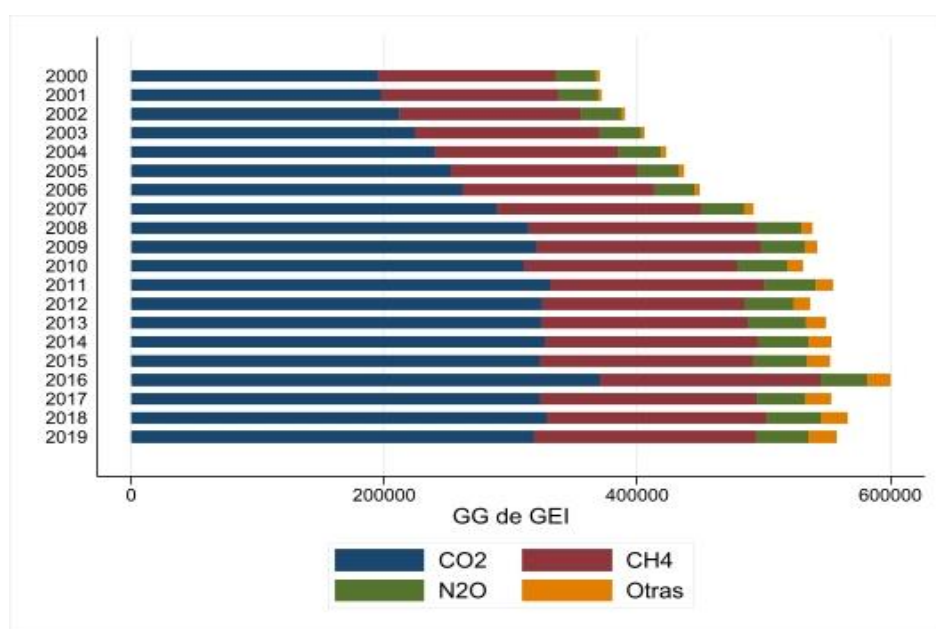
Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019 para las emisiones y del BIE-INEGI para el PIB.
Nota: Los datos del PIB están desestacionalizados. Para evitar un sesgo los datos se tomaron a partir del año 2001, debido a que la contabilización de las emisiones cambió en el año 2000.

Aunque la política ambiental en México inició en 2005, hasta el año 2014 no se contaba con un mercado de carbono como instrumento de control ambiental cuando se introdujo el impuesto a los combustibles fósiles. Para determinar la efectividad del impuesto en México es necesario analizar el comportamiento de las emisiones de GEI y CO₂.

La Gráfica 2 muestra las emisiones netas por tipo de GEI en el periodo 2000 a 2019. Se observa que la mayor parte de los GEI provienen de la emisión de CO₂ a lo largo de todos los años. El

segundo gas más contaminante es el CH₄, que también representa una porción importante de las emisiones de GEI. El resto de los gases contribuyen en una mínima cantidad a las emisiones de GEI. Tomando como total la cantidad de emisiones agregadas del periodo 2000 a 2019, las emisiones de CO₂ han representado el 61.86% de las emisiones de GEI totales. El CH₄ representa el 29.58% y el resto de los gases menos del 10% en conjunto. Por lo que el componente histórico más importante de los GEI ha sido el CO₂. Ahí la importancia del impuesto al carbono, ya que grava la mayor parte de las emisiones de los GEI.

Gráfica 2: Emisiones netas por tipo de GEI, 2000-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de GEI, equivalente a 1000 toneladas métricas de GEI. La categoría Otras incluye las emisiones de: HFC, PFC, NF₃ y SF₆.

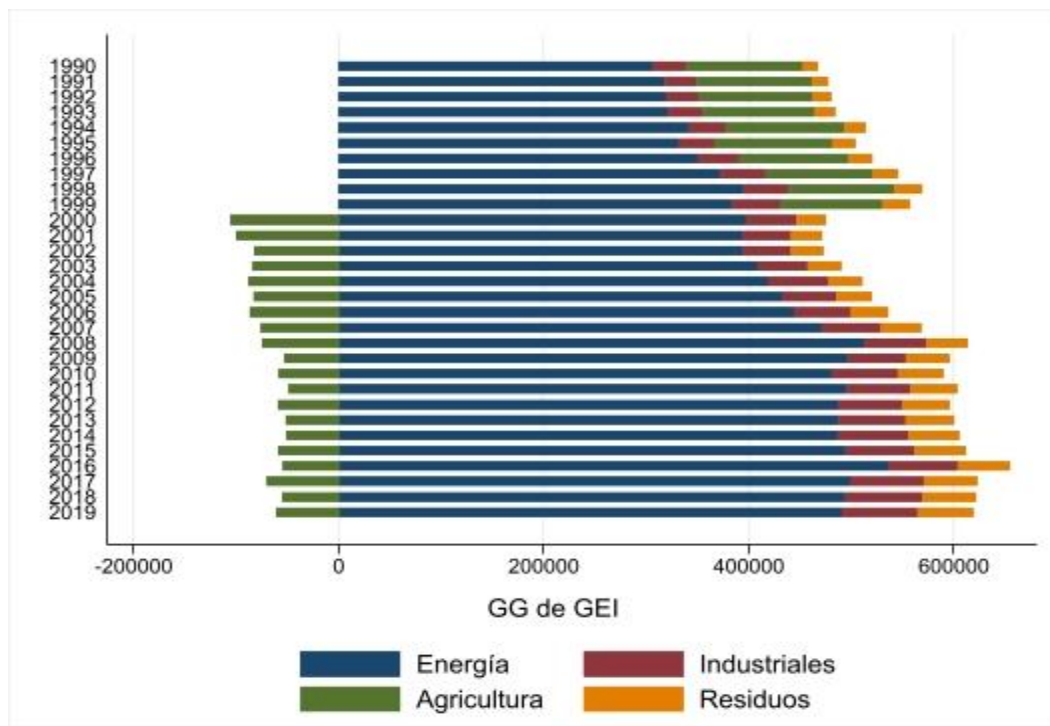
Al analizar las emisiones netas de GEI por sector se observa que históricamente el sector que más emisiones ha emitido es el de Energía, seguido del sector Procesos industriales y uso de productos (Industriales). La Gráfica 3, muestra las emisiones por sector de 1990 a 2019. En ella se observa un cambio drástico en las emisiones del sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (Agricultura). A partir del año 2000 pasa de generar emisiones de GEI a absorberlas. Sin embargo, el cambio se debe a que antes de este año las absorciones no se tomaban en cuenta en el Inventario y no por un cambio real en las emisiones de este sector.

De igual forma, la Tabla 2 muestra que el promedio de las emisiones de CO2 del sector Energía es el más alto, seguido de Industriales y Residuos. Mientras que el promedio del sector Agricultura es negativo, indicando que es fuente de absorción.

Así, excluyendo las emisiones del sector Agricultura, del total de emisiones netas de 1990 a 2019 el sector Energía ha representado el 82.8% de las emisiones de GEI. El sector Residuos y Procesos industriales sólo han representado menos del 20% en conjunto.

El impuesto al carbono en México grava exclusivamente al sector Energía¹. Debido a que contabiliza las emisiones producto de la quema de combustibles y no aquellos usados como parte del proceso productivo. Esto quiere decir que el impuesto a los combustibles fósiles grava el sector que genera la mayor cantidad de emisiones de GEI.

Gráfica 3: Emisiones netas de GEI por sector, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de GEI, equivalente a 1000 toneladas métricas de GEI.

¹ El sector Energía se refiere al establecido en el INEGyCEI, no al sector energético en general.

Tabla 2: Promedio de emisiones de CO2 por sector, 1990-2019

Sector	GG de CO2
Energía	395860.30
Agricultura	-129646.30
Industriales	44273.05
Residuos	727.52

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de CO2, equivalente a 1000 toneladas métricas de CO2.

Dado que el gas que más GEI genera y el que busca reducir el impuesto es el CO2, el resto del análisis se centrará en sus emisiones. La Gráfica 4 muestra que al evaluar las emisiones de CO2 por sector se observa que el sector que más emisiones genera es el de Energía. El sector Agricultura, a pesar de no contabilizar absorciones antes del 2000, en el periodo 1990 a 1999 tenía emisiones de CO2 casi nulas. Por su lado, el sector Industriales ha representado sólo una pequeña parte de las emisiones de CO2. Y el sector Residuos genera una cantidad mínima del gas.

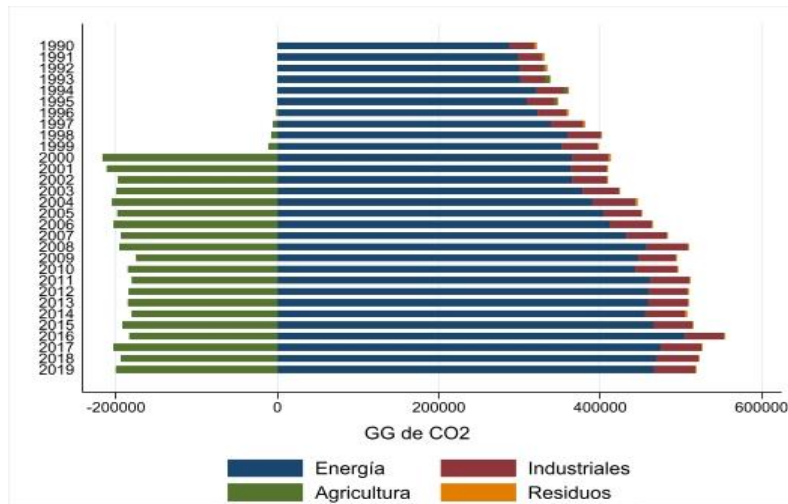
Excluyendo las emisiones de Agricultura del total de emisiones de CO2 de 1990 a 2019, el sector Energía ha representado 89.79% de las emisiones, mientras que Industrias sólo ha generado el 10.04%. El sector Residuos ha generado tan sólo el 0.16% de las emisiones de CO2.

Al igual que con los GEI, el sector Energía es aquel que mayores niveles de CO2 emite. Por lo que el impuesto al carbono grava directamente la fuente de emisiones de CO2 más significativa.

A pesar de que el impuesto al carbono grava el sector de emisiones más grande, el comportamiento de las emisiones no se ha reducido de manera sustancial.

Desde el año 2000 las emisiones de CO2 han ido en aumento. Sin embargo, al analizar la TCA se observa que ésta ha tenido una tendencia a la baja desde el 2007-2008. La Gráfica 5 muestra la TCA de las emisiones de CO2 del 2001 al 2019. La tasa de crecimiento era mayor en años anteriores al 2008 y esta se mantenía relativamente constante. Sin embargo, a partir de esta fecha la tasa ha variado considerablemente año con año. Incluso después de la implementación del impuesto, hubo un importante aumento en el 2016. Alcanzando niveles de crecimiento sin precedentes en la muestra analizada. Seguido de una gran caída al año siguiente.

Gráfica 4: Emisiones de CO2 por sector, 1990-2019

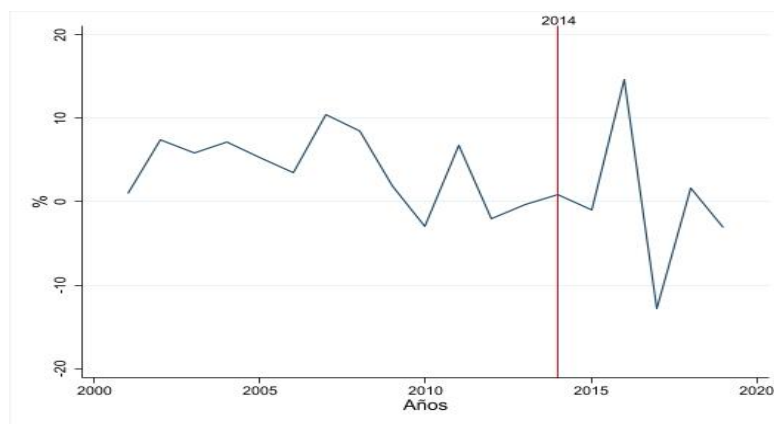


Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de CO2, equivalente a 1000 toneladas métricas de CO2.

En general, desde la introducción del impuesto al carbono en 2014, el nivel de emisiones no muestra una tendencia decreciente. Aunque el crecimiento de la tasa no ha vuelto a alcanzar los niveles de finales de la década del 2010, a excepción del 2016, esto no demuestra un impacto del impuesto al carbono. Debido a que su implementación fue casi un lustro después. Además, aunque en el 2017 hubo un decremento de las emisiones, al año siguiente se recuperó el nivel de crecimiento que se tenía cuando se implementó el impuesto. Y no continuó decreciendo, como se esperaba debido al efecto del gravamen.

Gráfica 5: TCA de Emisiones de CO2, 2001-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Siguiendo a Elgie y McClay (2013) tomé las TCA de las emisiones de CO₂ por sectores para analizar los cambios en las emisiones. Para analizar variaciones por el efecto del impuesto dividí a los sectores en dos grupos. El primero es el sector Energía, debido a que es aquel que está gravado. Para el segundo “Otros”, tomé el agregado de Industrias y Residuos, ya que el impuesto no les aplica. El sector Agricultura no se incluyó por ser fuente de absorciones.

Así, tomé la diferencia de las TCA del sector Energía y Otros para evaluar el cambio en las emisiones. De tener efecto el impuesto, la diferencia entre ambos sectores debería de ser negativa. Indicando que la TCA de Energía fue negativa o, en su defecto, fue menor a la TCA de Otros.

La Tabla 3 muestra los resultados de este ejercicio. Desde 1990 no existe una clara tendencia en las TCA de las emisiones de ambos sectores, así como tampoco existe una relación clara en ellas. De igual forma, a partir de la introducción del impuesto las TCA en ambos casos no reflejan un patrón de decremento. Si bien, en el 2013/14, 2016/17 y 2017/18 las TCA de Energía fueron negativas y la de Otros positivas, la de 2014/15 fue negativa para Otros y positiva para Energía. En 2018/19 las TCA fueron negativas para ambos casos, y, contrario a lo esperado, la del sector Otros decreció casi 3% más que la de Energía.

A partir del 2014, la mitad de las diferencias entre las tasas han sido negativas y la mitad positivas. Por lo que no se puede concluir que exista un cambio significativo en las emisiones de CO₂ debido al impuesto. Cabe resaltar, que, en el periodo anterior al impuesto la diferencia entre tasas ha sido negativa en múltiples ocasiones. Resultado que no indica el efecto de una política ambiental puesto que no había sido implementada.

Tabla 3: TCA de emisiones de CO2 por sector, 1990-2019

Años	Energía	Otros	Diferencia
1990/91	3.71	-4.34	8.05
1991/92	0.46	5.81	-5.35
1992/93	0.03	1.99	-1.96
1993/94	6.87	9.80	-2.92
1994/95	-4.34	-1.29	-3.06
1995/96	2.93	8.90	-5.97
1996/97	4.24	9.27	-5.03
1997/98	5.87	2.04	3.83
1998/99	-0.84	8.50	-9.34
1999/00	3.90	3.93	-0.03
2000/01	0.06	-2.57	2.64
2001/02	1.08	-3.85	4.94
2002/03	3.71	4.28	-0.57
2003/04	3.95	19.01	-15.07
2004/05	3.43	-12.59	16.02
2005/06	1.71	9.54	-7.83
2006/07	3.51	-2.88	6.39
2007/08	1.80	3.59	-1.79
2008/09	-0.91	-9.26	8.34
2009/10	1.67	10.06	-8.39
2010/11	5.78	-5.86	11.64
2011/12	0.44	0.16	0.28
2012/13	-0.11	0.93	-1.04
2013/14	-1.88	2.37	-4.25
2014/15	2.70	-3.30	6.00
2015/16	8.00	1.57	6.43
2016/17	-4.54	3.09	-7.63
2017/18	-1.36	3.69	-5.05
2018/19	-0.74	-3.47	2.73

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: El sector Otros se refiere a la suma de los sectores Industriales y Residuos.

Comparando las tasas de crecimiento de ambos sectores, Energía y Otros, se observa que a lo largo de los años han tenido una evolución similar. Sin embargo, el sector Otros ha presentado cambios más marcados que el de Energía.

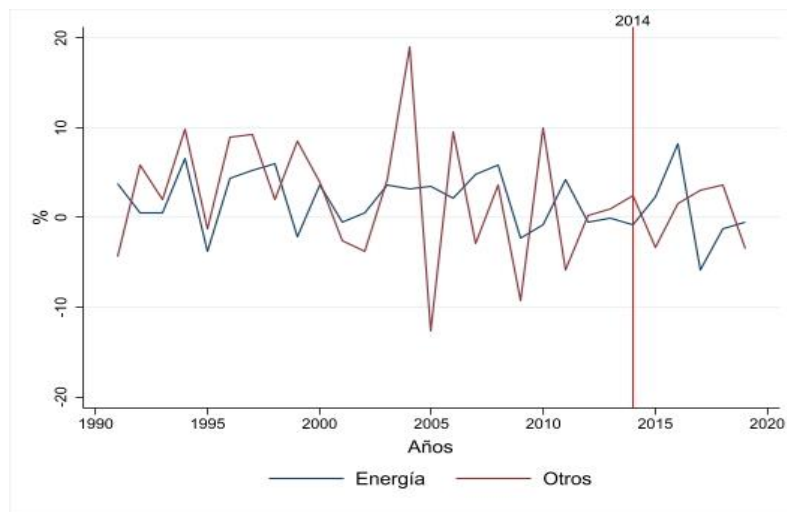
La Gráfica 6 muestra que a partir de 2014 las emisiones de CO2 del sector Energía han seguido creciendo, a pesar de la caída en 2017, al igual que lo han hecho las emisiones del agregado Otros. Este resultado contrasta con el análisis de las TCA, que no dan evidencia de una clara disminución del crecimiento o un decrecimiento de las emisiones de CO2 en el sector gravado.

Ya que el sector Energía es de principal interés por ser aquel en el que recae el impuesto, la Gráfica 7 desglosa las emisiones de CO2 por subfuentes de este sector.

De las fuentes de energía las que más generan emisiones de CO2 son la Industria de la energía (Energía, para la Gráfica 7) y el Transporte. Tendencia que se ha mantenido desde 1990. Mientras que Otros sectores (Otros) y Petróleo y gas natural son aquellas que menores emisiones generan. Del total de emisiones de CO2 de 1990 a 2019, el Transporte y la Industria de la energía han generado en conjunto el 73.96% de las emisiones de CO2.

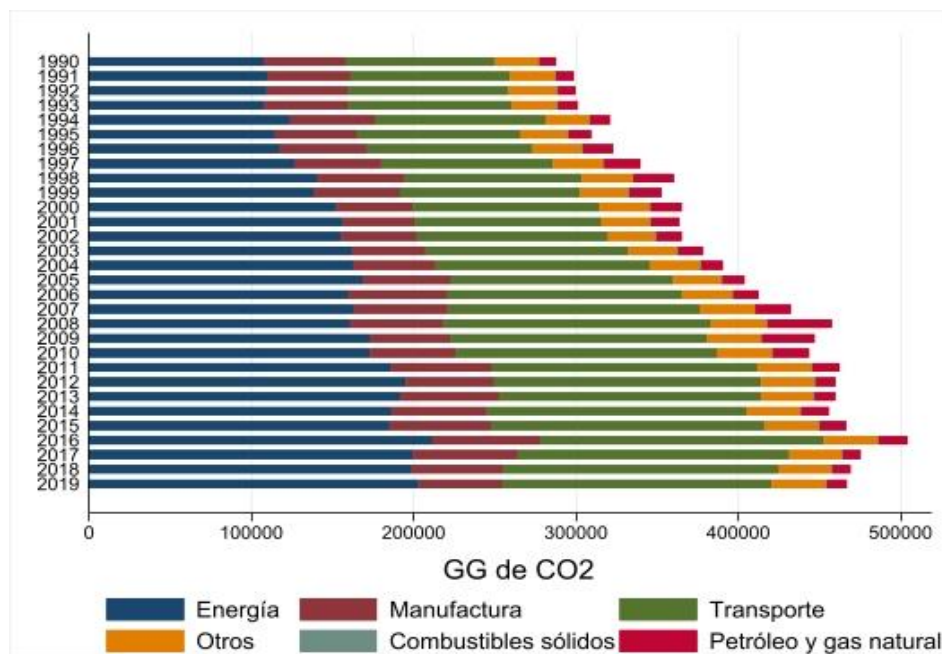
Por su parte, las fuentes de Industria de la manufactura y construcción (Manufactura), y Otros han generado el 21.73% de las emisiones. Mientras que el Petróleo y gas natural, y Combustibles sólidos tan sólo han generado el 4.3% del resto de las emisiones.

Gráfica 6: TCA de Emisiones de CO2 por sectores, 1991-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Gráfica 7: Emisiones de CO2 por fuentes de Energía, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

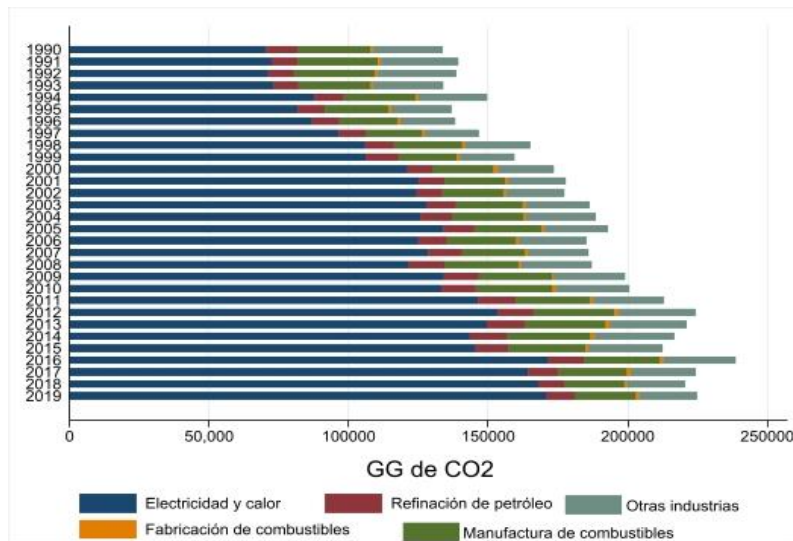
Nota: GG se refiere a los gigagramos de CO2, equivalente a 1000 toneladas métricas de CO2. Las fuentes desglosadas se encuentran en el Anexo.

Desglosando las emisiones de CO2 por subfuentes de las fuentes que más CO2 generan, tenemos que, de Industrias de la energía, la subfuente más contaminante es la Actividad principal producción de electricidad y calor (Electricidad y calor). Esta subfuente de emisión ha ido aumentando con el tiempo. En 1990 representaba aproximadamente la mitad de las emisiones de Industrias de la energía. Para el 2019 representó casi tres cuartas partes de las emisiones de CO2. La Gráfica 8 muestra las emisiones por subfuente de Industrias de la Energía, donde se observa el incremento gradual de las emisiones de Electricidad y calor históricamente. El resto de las subfuentes mantienen el nivel de emisiones en el tiempo.

Para la fuente Transporte, la principal subfuente de emisiones de CO2 es el Autotransporte. La Gráfica 9 muestra que desde 1990 ha representado casi el 100% de las emisiones de CO2. Además, desde 1990 ha aumentado considerablemente la cantidad de emisiones. Aproximadamente, el nivel de CO2 ha incrementado en todo el periodo 70,000 GG de CO2. Mientras que el resto de las subfuentes casi no generan emisiones.

Que el Transporte y su subfuente Autotransporte sean las que mayores niveles de CO2 emiten es relevante debido a que el impuesto al carbono impacta directamente a este sector. Por lo que teóricamente se está gravando una de las principales subfuentes de emisiones de CO2 que más contaminan.

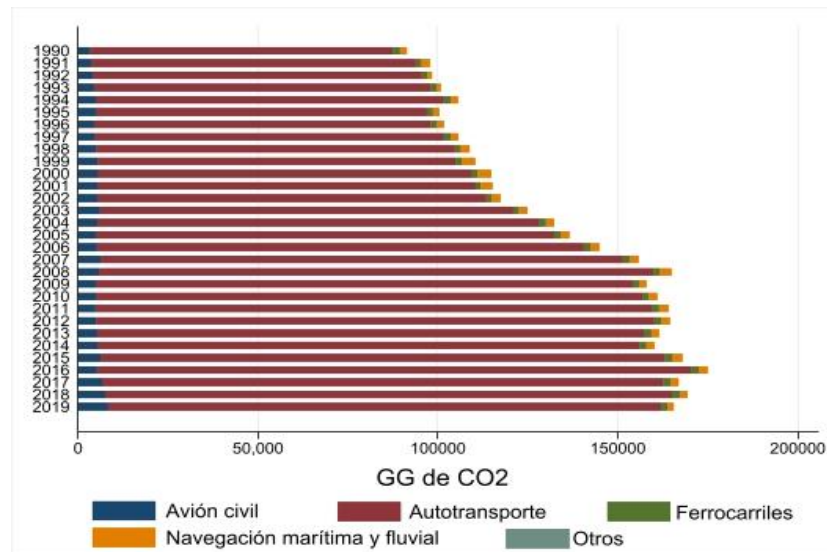
Gráfica 8: Emisiones de CO2 por subfuente de Industrias de la Energía, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de CO2, equivalente a 1000 toneladas métricas de CO2.

Gráfica 9: Emisiones de CO2 por subfuente de Transporte, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: GG se refiere a los gigagramos de CO2, equivalente a 1000 toneladas métricas de CO2.

ANÁLISIS ECONOMÉTRICO

La Tabla 4 muestra los resultados de la estimación del modelo de DD. A pesar de las correcciones, cluster y WCB, realizadas en la estimación hay que ser muy cuidadosos al interpretar los resultados. La única variable estadísticamente significativa fue la de Pertener al grupo de tratamiento. El estimador nos dice que pertenecer a las subfuentes del sector Energía aumenta las emisiones de CO2 en 1.32% más que en los sectores Residuos e Industriales. Este resultado concuerda con los de las estadísticas descriptivas que muestran que el sector con mayores emisiones de CO2 es el de Energía.

Tabla 4: Resultados de estimación de regresión de emisiones de CO2, DD

	(1)
VARIABLES	Log(CO2)
Después de 2014	0.2194 (0.377)
Sector Energía	1.3211 (0.018)***
Sector Energía x Después del 2014	-0.2688 (0.295)
Constante	6.0334 (0.000)
Observaciones	1,824
R cuadrada	0.061
H0: DD = 0 con WCB (valor p)	0.1952

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: Errores estándares en paréntesis *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Se aplicó una corrección de White con cluster, donde el cluster fue sobre el sector al que pertenecían las subfuentes.

Sin embargo, los estimadores del Paso del tiempo para ambos grupos y el Coeficiente de DD no son estadísticamente significativos. Por lo tanto, sus resultados sólo muestran evidencia sugestiva. El estimador de la variable Paso del tiempo tiene signo positivo, lo que sugiere que conforme pasa el tiempo las emisiones de CO2 aumentan. Este resultado concuerda con la evidencia de las

estadísticas descriptivas, que muestra que las emisiones de CO₂ históricamente han aumentado con el paso de los años.

Finalmente, el estimador del coeficiente de DD tiene signo negativo. Esto sugiere que existe una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂. Este resultado es consistente con el efecto esperado de la introducción de un impuesto al carbono. Sin embargo, no provee evidencia sólida del efecto del impuesto en las emisiones porque no es estadísticamente significativo.

De igual forma el ajuste de WCB arrojó un *valor p* que no es estadísticamente significativo. Es decir, al 19.5% de significancia se puede rechazar la hipótesis nula de que el efecto de DD es igual a cero. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis de que es igual a cero. Así, el resultado de la prueba WCB concuerda con el de la interacción Sector Energía x Después del 2014. Confirmando que el modelo realizado sólo puede brindar evidencia de una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂.

Además, la Gráfica 10 muestra los resultados del EE. Donde se reportan los estimadores de las interacciones de todos los años antes y después de la implementación del impuesto con la variable dicotómica que indica si la subfuente pertenece al sector Energía o no. El paso del tiempo relativo al año de implementación del impuesto indica el número de año antes y después de la implementación del impuesto. Donde el año de implementación 2014 es igual a 0. 2013 es igual a -1, 2015 igual a 1 y así sucesivamente. La tabla con los resultados completos del EE se encuentra en el Anexo.

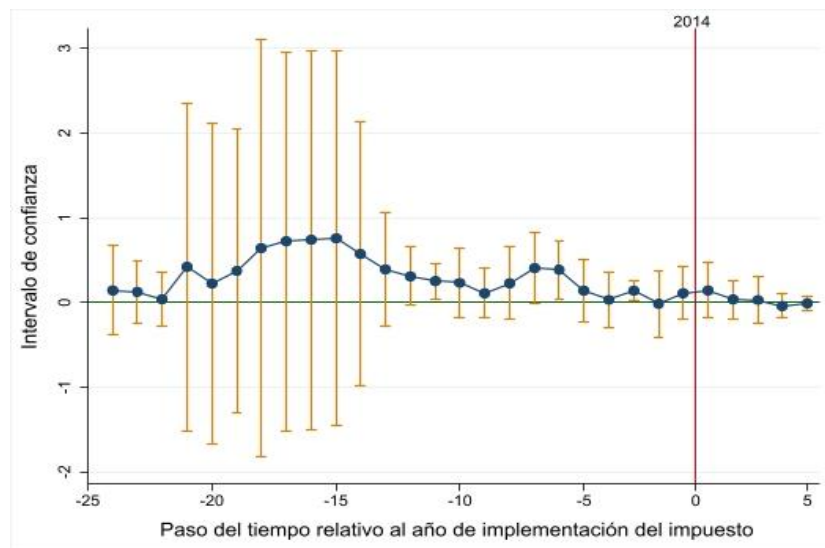
Ya que el EE arroja resultados año a año pre y post tratamiento, permite observar el cambio en los estimadores debido al impuesto. Los resultados muestran, por un lado, que el supuesto de tendencia común necesario para el modelo de DD se cumple. Debido a que, en los años posteriores a la implementación del impuesto los estimadores son menores que en los años anteriores al impuesto. Sin embargo, ningún estimador fue estadísticamente significativo. A excepción de la variable que indica que la observación pertenece al sector Energía. Brindando exclusivamente evidencia del cambio en la tendencia de las emisiones de CO₂ entre el sector Energía y Otros.

Por otro lado, debido a que en el 2016 se introdujo un impuesto a los combustibles automotrices, el EE permite evaluar si el cambio arrojado por el DD se debe realmente al impuesto al carbono.

Ya que el impuesto automotriz grava algunos de los combustibles contabilizados en el impuesto al carbono, se requiere mayor evidencia que el DD para analizar mejor el efecto de los impuestos.

Así, los resultados del EE muestran que el cambio en los estimadores se dio principalmente en el 2016. Cuando se introdujo el impuesto a los combustibles automotrices. Este resultado coincide con los obtenidos en el DD. Si bien, el resultado del modelo DD provee evidencia sugestiva de una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂, este no es significativo. Lo cual, puede deberse a que la reducción de las emisiones no proviene, en mayor medida, del impuesto a los combustibles fósiles. La Tabla 9 del Anexo contiene los resultados de las estimaciones del EE. Donde se encuentra el cambio en las emisiones debido a los impuestos.

Gráfica 10: Estudio de Evento



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

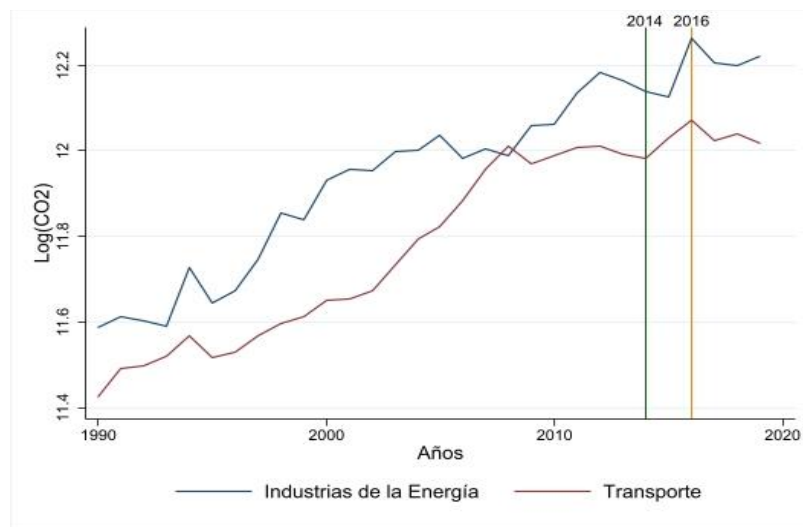
Nota: Se aplicó una corrección de White con cluster, donde el cluster fue sobre el sector al que pertenecían las subfuentes.

El impuesto a los combustibles automotrices impacta directamente a las fuentes de emisiones de Transporte. Al comparar el crecimiento de las emisiones entre las fuentes de mayor emisión de CO₂ del sector Energía, Transporte e Industrias de la energía, se observa que las emisiones de Transporte parecen disminuir a partir del impuesto del 2016. Contario a las emisiones de Industrias de la energía, las cuales no afecta el impuesto, que parecen seguir aumentando. La Gráfica 11 muestra este comportamiento. Donde, además, tras el corte en el 2014 con el impuesto al carbono, ninguno de los sectores presenta un cambio en la tendencia de las emisiones de CO₂ en los años

posteriores. Hasta el 2016, con el impuesto a los combustibles automotrices, se presenta un cambio.

Este resultado brinda evidencia sobre el bajo impacto del impuesto al carbono en las emisiones de CO₂. Además, de que sugiere que la regulación directa sobre los combustibles automotrices ha contribuido a reducir más las emisiones de CO₂ en las fuentes que grava. Comparadas con las fuentes a las que sólo se aplica el impuesto al carbono.

Gráfica 11: Impuesto a los combustibles fósiles vs impuesto a los combustibles automotrices, 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

Nota: Log(CO₂) representa el logaritmo natural de las emisiones de CO₂. Se presentan en logaritmo para poder comparar el nivel de crecimiento entre sectores.

Con base en este resultado se refuerza la idea de la necesidad de contar con mayores estudios que investiguen el impacto del impuesto al carbono en las emisiones de CO₂. Así como también del impuesto a los combustibles automotrices.

RESULTADOS

En el análisis realizado se encontró, para comenzar, que existe evidencia de que el impuesto grava el sector correcto. Es decir, grava el sector Energía cuyas fuentes de emisión son las que mayor cantidad de GEI y CO₂ emiten. Gravando casi el 90% del origen de las emisiones de carbono. Por lo tanto, el impuesto afecta directamente a las subfuentes más importantes de contaminación.

Sin embargo, no se encontró evidencia sólida de que las emisiones de CO₂ estén disminuyendo en el sector Energía debido al impuesto.

Primero, ninguna de las gráficas muestra que exista una disminución de las emisiones de CO₂ en el sector gravado. Ni siquiera generaron evidencia de que el comportamiento de las TCA haya decrecido o, en su defecto, incrementado en menor medida en los años posteriores a la implementación.

Segundo, la comparación de las tasas de crecimiento anual entre los sectores afectados y no afectados por el impuesto y su diferencia tampoco muestran un cambio en la tendencia anterior al impuesto, un decremento de la tasa posterior al 2014 o una diferencia negativa entre los sectores.

Tercero, aunque el modelo de DD presentado se limite a proveer evidencia sugestiva y deba ser interpretado con cautela, los resultados obtenidos del método de Diferencias en Diferencias sugieren que existe una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂. Sin embargo, aunque exista una relación negativa que confirme el efecto esperado del impuesto, no se provee evidencia de que las emisiones reales estén disminuyendo. Esto puede deberse a que, si bien, el impuesto ayuda a disminuir las emisiones de CO₂ la baja tasa impositiva está impidiendo que cumpla con su función en su totalidad.

Y cuarto, el EE sugiere que existe otra política que puede estar generando mayores cambios en las emisiones que el impuesto al carbono. Sin embargo, este efecto puede deberse a que las emisiones de las fuentes que se encuentran doblemente gravadas, por el impuesto al carbono y a los combustibles automotrices, son las que presentan un cambio en las emisiones tras imponer el doble gravamen. Esto brinda evidencia de que las emisiones disminuyeron en las fuentes cuyas tasas impositivas son más elevadas. Debido a que el doble gravamen aumenta el precio de los combustibles de la fuente Transporte en mayor medida, comparado con otras fuentes que sólo se gravan una vez. Y, por ende, el precio del resto de los combustibles fósiles es menor.

Así, la evidencia presentada sugiere que el impuesto al carbono en México no ha sido efectivo en la reducción de las emisiones de CO₂. Por ello, se necesita un cambio en la política pública actual, que lleve a verdaderas reducciones de la contaminación.

Cabe resaltar que, debido a las limitaciones en los datos, los resultados deben interpretarse cautelosamente. Y se requiere de un análisis más profundo para conocer el efecto estimado en las

emisiones. En vía de mientras, el presente trabajo abre el debate y la investigación del efecto del impuesto al carbono en las emisiones de CO₂. Así, como los resultados presentados brindan evidencia del impacto del gravamen y proveen el contexto actual de las emisiones en México.

V. IMPLICACIONES DE POLÍTICA

Con base en los resultados arrojados por el análisis empírico se concluyó que el impuesto al carbono en México no ha sido una medida efectiva para disminuir los niveles de contaminación. Por ello, esta sección busca recomendar un mecanismo que sea viable en México y que contribuya a la disminución de la contaminación.

Debido a que un impuesto piguviano es especialmente fácil de aplicar en el caso de las emisiones de CO₂, ya que la cantidad de CO₂ asociada con la quema de una tonelada de carbón es constante (Metcalf, 2021). Además, de que el mejor lugar para imponer el impuesto es en un punto de la cadena de suministro donde el contenido de carbono pueda medirse fácilmente y el número de contribuyentes sea relativamente pequeño, es decir, aguas arriba (Marron y Toder, 2014) (hecho que en el caso de la regulación mexicana ya se lleva a cabo), esta propuesta plantea continuar con el mecanismo impositivo. Sin embargo, argumenta que se deben de fortalecerse los criterios que lo componen.

De acuerdo con el Banco Mundial (2021a) el diseño de un impuesto al carbono consta de cinco elementos centrales: 1. La base que determina el alcance de las emisiones a las que se aplica el impuesto; 2. El tipo impositivo que determina el precio del carbono; 3. La estructura institucional; 4. Las decisiones sobre el uso de los ingresos; y 5. Las medidas para hacer frente a los efectos no deseados del impuesto.

Entre estos elementos destaca el tipo impositivo. De acuerdo con Conefrey et al. (2008) la forma más fácil de establecer un precio para las emisiones es imponer el mismo impuesto sobre las emisiones a todas las fuentes, lo que implica que el costo marginal es igual para todos los sectores económicos. Así, un impuesto uniforme garantizaría que el costo de reducir las emisiones sea el mínimo. Por ello, para comenzar se plantea que el impuesto sea homogéneo independientemente del tipo de combustible del que se trate.

Además, por un lado, el impuesto actual se impuso sobre las subfuentes que generan los mayores niveles de contaminación. Como se observó en el análisis estadístico, las subfuentes con las emisiones de CO₂ más altas son aquellas gravadas por el impuesto. Por ello, se recomienda seguir concentrando el gravamen en el sector Energía.

De extender el impuesto al consumo de combustibles fósiles para la manufactura, la reducción de las emisiones totales, incluso si el impuesto fuera efectivo, sería mínima. Debido a que los sectores no gravados generan un porcentaje muy pequeño de las emisiones totales.

Por otro lado, varios autores señalan que los impuestos al carbono no han sido eficientes debido a las bajas tasas impositivas y, por ende, a los bajos precios de los combustibles fósiles (Haites, 2018; Kojima y Asakawa, 2016; Pretis, 2022; Haites et al., 2018; y Andersen, 2010). Además de que incluso a tasas altas los impuestos pueden no ser efectivos si se ven limitados por exenciones en las principales fuentes de emisiones y elasticidades de la demanda relativamente inelásticas en los sectores que grava el impuesto (Bruvoll y Larsen, 2004). Sin embargo, también se ha encontrado que el impacto del gravamen en los países con mayores tasas impositivas es mayor comparado con los países con tasas más bajas (Andersen, 2010).

En el caso de México los sectores exentos sólo contribuyen con una mínima cantidad de emisiones tanto de GEI como de CO₂. Por ello, el poco impacto que ha tenido el impuesto en reducir las emisiones parece no deberse a las exenciones y se argumenta que la principal falla del impuesto en México son las bajas tasas impositivas.

Por esto, la propuesta de política se enfoca en fortalecer el segundo elemento estableciendo por el Banco Mundial, es decir, el tipo impositivo. Esta consiste, principalmente, en aumentar la tasa impositiva a los combustibles fósiles.

Como el EE sugiere, las emisiones de las fuentes que se encuentran doblemente gravadas, por el impuesto al carbono y a los combustibles automotrices, son las que presentan un cambio en las emisiones tras imponer el doble gravamen. Esto brinda evidencia de que las emisiones cayeron en las fuentes cuyas tasas impositivas son más elevadas. Debido a que el doble gravamen aumenta el precio de los combustibles de la fuente Transporte en mayor medida, comparado con otras fuentes que sólo se gravan una vez. Y, por ende, el precio del resto de los combustibles fósiles es menor.

Además, la tasa impositiva debe aumentar lo suficiente para reducir las emisiones. De acuerdo con estimaciones del Banco Mundial (2021b), el precio al carbono debe encontrarse entre los 40 y 80 dólares por tonelada métrica para cumplir los objetivos de temperatura del Acuerdo de París. Por su lado el Fondo Monetario Internacional (IMF, 2022) calculó que para alcanzar disminuciones importantes de las emisiones de CO₂ en México, el precio al carbono debe ser de 50 dólares por tonelada métrica. Precios sustancialmente elevados a comparación de los establecidos en el impuesto en México. Como se observa en la Tabla 1, el precio más elevado es de casi 56 pesos por tonelada para “otros combustibles fósiles”. Así, tomando un tipo de cambio igual a 18,9329 pesos por dólar², el precio actual del carbono en México se encuentra 701,4883 pesos por tonelada por debajo del nivel mínimo recomendado (40 dólares).

Con base en estas estimaciones se propone que el precio por tonelada métrica del carbono sea de al menos 40 dólares. Lo que establecería el precio en el mínimo recomendado para reducir las emisiones.

Sin embargo, se requiere un análisis más profundo que evalúe las elasticidades de la demanda de los combustibles fósiles en México. Debido a que es importante establecer una tasa que supere la elasticidad. De tener una demanda inelástica, es probable que aun aumentando considerablemente la tasa impositiva no sea suficiente para reducir el consumo de los combustibles. Y con ello, insuficiente para reducir las emisiones de CO₂.

Por otro lado, es necesario establecer un uso de los recursos obtenidos mediante el impuesto. Este uso debe de centrarse en la inversión en eficiencia energética, y mejorar la tecnología y el transporte público. Ya que estos sectores son las principales fuentes de emisiones de CO₂.

Cabe resaltar que el aumentar la tasa impositiva tan considerablemente traerá consigo efectos adversos para la economía. Sin embargo, este trabajo se concentra únicamente en la efectividad del impuesto en reducir las emisiones de CO₂. El efecto estimado del impacto de una tasa elevada se deja a futuras investigaciones.

² Tipo de cambio al 17/03/23. Obtenido de: <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>

VI. CONCLUSIONES

Debido al elevado nivel de contaminación que existe en el mundo y los riesgos climáticos a los que conlleva, diversos países alrededor del mundo se han comprometido a implementar políticas públicas ambientales. Una de las principales medidas usadas es el impuesto al carbono. Debido a su fácil implementación y eficiencia teórica, los diseñadores de las políticas ambientales han optado por usar este mecanismo. Así, desde 1990 el impuesto al carbono se ha usado como medio de reducción de la contaminación.

En el caso de México, el impuesto se introdujo en el 2014. Y actualmente cuenta con una de las tasas impositivas más bajas del mercado de carbono a nivel mundial. Debido a que el impuesto es una de las principales medidas usadas para reducir las emisiones de CO₂, conocer su efectividad es de suma importancia. Por ello, este trabajo presenta un análisis empírico y descriptivo para proveer evidencia del impacto del impuesto en México. Usando Datos del INEGyCEI, se realizó un análisis estadístico, un método de comparación de TCA, y un modelo de DD complementado con un EE.

Con base en los resultados arrojados por el análisis se concluye que ninguno de los métodos utilizados provee evidencia sólida de que el impuesto al carbono esté reduciendo los niveles de emisión de CO₂ en México. Aunque el modelo de DD se limita a proveer evidencia sugestiva y deba ser interpretado con cautela, los resultados obtenidos sugieren que existe una relación negativa entre el impuesto y las emisiones de CO₂.

Sin embargo, aunque exista una relación negativa que confirme el efecto esperado del impuesto, no se provee evidencia de que las emisiones reales estén disminuyendo. Esto puede deberse a que, si bien, el impuesto ayuda a disminuir las emisiones de CO₂ la baja tasa impositiva está impidiendo que cumpla con su función en su totalidad.

Así, la evidencia presentada sugiere que el impuesto al carbono en México no ha sido efectivo en la reducción de las emisiones de CO₂. Por ello, se necesita un cambio en la política pública actual, que lleve a verdaderas reducciones de la contaminación.

La propuesta de política presentada consiste en aumentar la tasa impositiva a los combustibles fósiles. Para ello, primero se propone homogeneizar la tasa aplicada a los distintos combustibles.

Y segundo, con base en las estimaciones del Banco Mundial y del FMI se propone que el precio por tonelada métrica del carbono sea de al menos 40 dólares.

Cabe resaltar que, debido a las limitaciones en los datos, los resultados deben interpretarse cautelosamente. Y se requiere de un análisis más profundo para conocer el efecto estimado en las emisiones. Sin embargo, el presente trabajo abre el debate y la investigación del efecto del impuesto al carbono en las emisiones de CO₂ en México. Así, como los resultados presentados brindan evidencia del impacto del gravamen y proveen el contexto actual de las emisiones en México.

VII. ANEXOS

Este Anexo presenta los sectores desglosados de emisiones de GEI. Para facilitar la comprensión se separaron las tablas por sector.

Tabla 5: Desglose del sector Energía

Sector	Subsector	Fuente	Subfuente
Energía	Actividades de quema de combustible	Industrias de la energía	Actividad principal producción de electricidad y calor
			Refinación del petróleo
			Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía
			Fabricación de combustibles sólidos (coque de carbón)
			Otras Industrias de la energía
		Industrias de la manufactura y de la construcción	Hierro y acero
			Metales no ferrosos
			Sustancias químicas
			Petroquímica
			Industria química
			Fertilizantes
			Pulpa, papel e imprenta
			Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco
			Elaboración de azúcares
			Elaboración de bebidas
			Elaboración de productos de tabaco
			Elaboración de cerveza
			Elaboración de alimentos
			Minerales no metálicos
			Equipo de transporte
			Maquinaria
			Minería (con excepción de combustibles) y cantería
			Madera y productos de la madera
			Construcción
			Textiles y cueros
			Industria no especificada
			Fabricación de vidrio y productos de vidrio
Fabricación de productos de hule			

		Transporte	Otras ramas
			Aviación civil
			Autotransporte
			Ferrocarriles
			Navegación marítima y fluvial
		Otro transporte	
		Otros sectores	Comercial/institucional
			Residencial
			Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías
		Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	Combustibles sólidos
	Minas subterráneas		
	Minas superficie		
	Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón		
	Petróleo y gas natural		Petróleo
			Venteo petróleo
			Quemado petróleo
			Otras fugitivas petróleo
Gas natural			
Venteo gas natural			
Quemado gas natural			
Otras fugitivas gas natural			

Fuente: Elaboración propia con base en INEGyCEI 1999-2019

Tabla 6: Desglose del sector Procesos industriales y uso de productos

Sector	Subsector	Fuente
Procesos industriales y uso de productos	Industria de los minerales	Producción de cemento
		Producción de cal
		Producción de vidrio
		Otros usos de carbonatos
		Otros
		Producción de amoníaco
		Producción de ácido nítrico
		Producción de ácido adípico
		Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico
		Producción de carburo
		Producción de dióxido de titanio
		Producción de ceniza de sosa
		Producción petroquímica y negro de humo
		Producción fluoroquímica
		Otros
		Producción de hierro y acero
		Producción de ferroaleaciones
		Producción de aluminio
		Producción de magnesio
		Producción de plomo
		Producción de zinc
		Otros
		Uso de lubricantes
		Uso de la cera de parafina
		Uso de solventes
		Otros
		Circuitos integrados o semiconductores
		Pantalla plana tipo TFT
		Células fotovoltaicas
		Fluido de transferencia térmica
		Otros
		Refrigeración y aire acondicionado
Agentes espumantes		

		Protección contra incendios
		Aerosoles
		Solventes
		Otras aplicaciones
	Manufactura y utilización de otros productos	Equipos eléctricos
		SF6 y PFC de otros usos de productos
		N2O de usos de productos
		Otros
		Industria de la pulpa y el papel
		Industria de la alimentación y las bebidas
		Otros

Fuente: Elaboración propia con base en INEGyCEI 1999-2019

Tabla 7: Desglose de sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

Sector	Subsector	Fuente	Subfuente
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	Ganado	Fermentación entérica	Bovino
			Búfalos
			Ovinos
			Caprino
			Camello
			Caballos
			Mulas y asnos
			Porcinos
			Otros (especificar)
		Gestión del estiércol	Bovinos
			Búfalos
			Ovinos
			Caprino
			Camello
			Caballos
			Mulas y asnos
			Porcinos
			Aves de corral
	Otros (especificar)		
	Tierra	Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal
			Tierras convertidas a tierras forestales
		Tierra de cultivo	Tierras de cultivo que permanecen como tal
			Tierras convertidas a tierras de cultivo
		Praderas	Praderas que permanecen como tal
Tierras convertidas en praderas			
Humedales		Humedales que permanecen como tal	
		Tierras convertidas en humedales	
Asentamientos	Asentamientos que permanecen como tal		

			Tierras convertidas en asentamientos	
		Otras tierras	Otras tierras que permanecen como tal	
			Tierras convertidas en otras tierras	
	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 de la tierra	Emisiones de GEI por quemado de biomasa		Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales
				Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo
				Emisiones de quemado de biomasa en tierras praderas
				Emisiones de quemado de biomasa en otras tierras
			Encalado	
			Aplicación de urea	
			Emisiones directas de los N2O de los suelos gestionados	
			Emisiones indirectas de los N2O de los suelos gestionados	
			Emisiones indirectas de los N2O de la gestión del estiércol	
			Cultivo del arroz	
		Otros		Productos de madera recolectada
			Otros (especificar)	

Fuente: Elaboración propia con base en INEGyCEI 1999-2019

Tabla 8: Desglose del sector Residuos

Sector	Subsector	Fuente
Residuos	Eliminación de residuos sólidos	Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)
		Sitios no controlados de eliminación de residuos
		Tiraderos a cielo abierto para eliminación de residuos
	Tratamiento biológico de los residuos sólidos	
	Incineración y quema a cielo abierto de residuos	Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infeccioso
		Quema a cielo abierto de residuos sólidos
	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales
		Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales
	Otros	

Fuente: Elaboración propia con base en INEGyCEI 1999-2019

Resultados del modelo de EE.

Tabla 9: Resultados de estimación de regresión de emisiones de CO₂, EE

Variables	(1)	(2)	(3)	
	Log(CO ₂)	Error Estándar	[Intervalo de Confianza 95%]	
Año 1990	0.3663	0.7332	-1.9671	2.6996
Año 1991	0.3902	0.7681	2.0543	2.8346
Año 1992	0.4603	0.7772	2.0130	2.9336
Año 1993	0.0701	0.4202	1.2670	1.4072
Año 1994	0.2954	0.3713	0.8862	1.4769
Año 1995	0.1111	0.4095	1.1922	1.4143
Año 1996	0.0000	omitida	-	-
Año 1997	0.0315	0.0707	0.2565	0.1934
Año 1998	0.0132	0.0694	-0.2340	0.2077
Año 1999	0.0141	0.0773	-0.2603	0.2320
Año 2000	0.1151	0.3554	1.0159	1.2462
Año 2001	0.2386	0.5725	-1.5833	2.0604
Año 2002	0.2504	0.6636	1.8616	2.3624
Año 2003	0.3002	0.7334	2.0338	2.6342
Año 2004	0.4105	0.6440	1.6389	2.4599
Año 2005	0.4884	0.7099	-1.7710	2.7477
Año 2006	0.4164	0.6392	1.6179	2.4507
Año 2007	0.3136	0.6441	1.7361	2.3632
Año 2008	0.3954	0.6627	1.7136	2.5044
Año 2009	0.5754	0.8277	2.0586	3.2094
Año 2010	0.6431	0.7551	1.7600	3.0462
Año 2011	0.5535	0.7340	1.7824	2.8895
Año 2012	0.5643	0.6997	1.6624	2.7910
Año 2013	0.5290	0.6833	1.6456	2.7036
Año 2014	0.6026	0.7717	1.8533	3.0585
Año 2015	0.4525	0.7388	1.8986	2.8035
Año 2016	0.5989	0.8354	-2.0598	3.2576
Año 2017	0.5305	0.7075	1.7212	2.7822
Año 2018	0.5646	0.7295	1.7569	2.8861
Año 2019	0.5164	0.7468	-1.8602	2.8929
Sector Energía	1.0264***	0.0951	0.7239	1.3289
Sector Energía x Año 1990	0.1438	0.1673	0.3887	0.6764
Sector Energía x Año 1991	0.1271	0.1153	0.2400	0.4941
Sector Energía x Año 1992	0.0365	0.0995	0.2801	0.3531
Sector Energía x Año 1993	0.4164	0.6090	1.5218	2.3546
Sector Energía x Año 1994	0.2240	0.5932	1.6640	2.1119

Sector Energía x Año 1995	0.3717	0.5244	1.2972	2.0405
Sector Energía x Año 1996	0.6409	0.7717	1.8150	3.0967
Sector Energía x Año 1997	0.7188	0.7023	1.5162	2.9539
Sector Energía x Año 1998	0.7382	0.7034	1.5002	2.9767
Sector Energía x Año 1999	0.7549	0.6966	1.4619	2.9717
Sector Energía x Año 2000	0.5684	0.4904	0.9922	2.1290
Sector Energía x Año 2001	0.3895	0.2130	0.2883	1.0672
Sector Energía x Año 2002	0.3092	0.1081	0.0349	0.6533
Sector Energía x Año 2003	0.2483	0.0655	0.0399	0.4567
Sector Energía x Año 2004	0.2303	0.1294	0.1814	0.6419
Sector Energía x Año 2005	0.1113	0.0900	0.1752	0.3978
Sector Energía x Año 2006	0.2291	0.1339	0.1971	0.6554
Sector Energía x Año 2007	0.4037	0.1316	0.0150	0.8225
Sector Energía x Año 2008	0.3824	0.1097	0.0332	0.7316
Sector Energía x Año 2009	0.1399	0.1163	0.2301	0.5099
Sector Energía x Año 2010	0.0299	0.1029	0.2977	0.3574
Sector Energía x Año 2011	0.1390	0.0387	0.0158	0.2622
Sector Energía x Año 2012	0.0198	0.1245	-0.4161	0.3765
Sector Energía x Año 2013	0.1112	0.0992	0.2046	0.4269
Sector Energía x Año 2014	0.1437	0.1040	0.1874	0.4748
Sector Energía x Año 2015	0.0323	0.0716	-0.1956	0.2602
Sector Energía x Año 2016	0.0291	0.0886	0.2530	0.3112
Sector Energía x Año 2017	0.0394	0.0440	0.1794	0.1006
Sector Energía x Año 2018	0.0091	0.0270	-0.0951	0.0768
Constante	5.7084	0.7924	3.1868	8.2301
Observaciones	1824			
R Cuadrada	0.0637			

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGyCEI 1990-2019.

*Nota: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Se aplicó una corrección de White con cluster, donde el cluster fue sobre el sector al que pertenecían las subfuentes.*

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmadi, Younes, Yamazaki, Akio and Kabore, Philippe, (2022), How Do Carbon Taxes Affect Emissions? Plant-Level Evidence from Manufacturing, *Environmental & Resource Economics*, 82, issue 2, p. 285-325.
- Alcantara, Vicent and Padilla, Emilio, (2005), Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo, *Revista de Economía Crítica*, 4, issue, p. 17-37.
- Andersen, Maikael Skou, Dengse, Niels and Pedersen, Anders Branth, (2002), An Evaluation of the Impact of Green Taxes in the Nordic Countries, *ResearchGate*, TemaNord 2000:561.
- Andersen, Mikael Skou, (2010), Europe's experience with carbon-energy taxation, *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society* 3.2 | 2010, Vol.3 / n°2.
- Andersson, Julius J., (2019), Carbon Taxes and CO₂ Emissions: Sweden as a Case Study, *American Economic Journal: Economic Policy* 2019, 11(4): 1–30.
- Ávila, Viridiana Vanessa Arredondo, Ibarra, Eduardo García, Izaguirre, Juan Antonio Herrera and Salinas, René Adrian Salinas, (2011), LOS ESTÍMULOS FISCALES COMO HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO, *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, issue 159.
- Banco Mundial (2021b), *State and Trends of Carbon Pricing 2021*, Washington DC: World Bank.
- Banco Mundial, (2021a), *From the Ground Up A Decade of Lessons on Carbon Pricing*, Washington, DC: World Bank.
- Bertacchini, Enrico, (2008), Coase, Pigou and the potato: Whither farmers' rights?, *Ecological Economics*, 68, issue 1-2, p. 183-193.
- Bertrand, Marianne, Duflo, Esther and Mullainathan, Sendhil, (2002), How Much Should We Trust Differences-in-Differences Estimates?, No 8841, *NBER Working Papers*, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Bonilla, David, Banister, David and Nieto, Uberto Salgado, (2022), Tax or Clean Technology? Measuring the True Effect on Carbon Emissions Mitigation for Sweden and Norway, *Energies*, 15, issue 11, p. 1-24.
- Bruvoll, Annegrete and Larsen, Bodil Merethe, (2004), Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work?, *Energy Policy*, 32, issue 4, p. 493-505.
- Cámara de Diputados, (s/f), México ya desarrolló un impuesto a las emisiones de carbono; recaudaría mil millones de dólares al año, *Comunicación social, Boletín Número 3710*, Recuperado el 01 de octubre de 2022 de <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2014/Junio/08/3710-Mexico-ya-desarrollo-un-impuesto-a-las-emisiones-de-carbono-recaudaria-mil-millones-de-dolares-al-ano>.
- Cameron, A., Gelbach, Jonah B., and Miller, Doug, (2006), Bootstrap-Based Improvements for Inference with Clustered Errors, No 128, *Working Papers*, University of California, Davis, Department of Economics.
- Clarke, Damian and Tapia-Schyte, Kathya, (2021), Implementing the panel event study, *Stata Journal*, 21, issue 4, p. 853-884.

Conefrey, Thomas, Fitzgerald, John, Malaguzzi Valeri, Laura and Tol, Richard, (2008), The Impact of a Carbon Tax on Economic Growth and Carbon Dioxide Emissions in Ireland, No WP251, Papers, Economic and Social Research Institute (ESRI).

Elbaum, Jean-David(2021), The effect of a carbon tax on per capita carbon dioxide emissions: evidence from Finland, No 21-05, IRENE Working Papers, IRENE Institute of Economic Research.

Elgie, Stewart and McClay, Jessica, (2013), Policy Commentary/Commentaire BC's Carbon Tax Shift Is Working Well after Four Years (Attention Ottawa), Canadian Public Policy, 39, issue s2, p. 1-10.

Figueroa, A. (2005), Tributos Ambientales en México. Una revisión de su evolución y sus problemas, Boletín Mexicano de Derecho Comparado, nueva serie, año XXXVIII, núm. 14, septiembre-diciembre, pp. 991-1020.

Fremstad, Anders, Paul, Mark, (2017), A Distributional Analysis of a Carbon Tax and Dividend in the United States, Political Economy Research Institute, Workingpaper series, Number 434.

Fujiwara, Noriko, Bössner, Stefan and van Asselt, Harro, (2018), Climate change policy evaluations in the EU and Member States: Results from a meta-analysis, CARISMA, Discussion Paper No. 4, January 2018.

Goulder, Lawrence H., (1992), Carbon Tax Design and U.S. Industry Performance, in James M. Poterba, ed., Tax Policy and the Economy 6, Cambridge: MIT Press.

Goulder, Lawrence H., (1995), Environmental Taxation and the 'Double Dividend': A Reader's Guide, International Tax and Public Finance 2(2).

Goulder, Lawrence H., (2020), Timing Is Everything: How Economists Can Better Address the Urgency of Stronger Climate Policy, Review of Environmental Economics and Policy, 14, issue 1, p. 143 - 156.

Goulder, Lawrence H., Hafstead, Marc A.C., Kim, GyuRim, Long, Xianling, (2019), Impacts of a carbon tax across US household income groups: What are the equity-efficiency trade-offs?, Journal of Public Economics, Volume 175, 44-64

Green, Jessica F., (2021), Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses, Environ. Res. Lett. 16 043004.

Haites, Erik, (2018), Carbon taxes and greenhouse gas emissions trading systems: what have we learned?, Climate Policy, 18, issue 8, p. 955-966.

Haites, Erik, Maoshenh, Duan, Gallagher, Kelly Sims, Mascher, Sharon, Narassimhan, Easwaran, Richards, Kenneth R. and Wakabayashi, Masayo, (2018), EXPERIENCE WITH CARBON TAXES AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS TRADING SYSTEMS, DUKE ENVIRONMENTAL LAW & POLICY FORUM, Vol. XXIX:109.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI), INECC, Recuperado el 10 de noviembre de 2021 de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

International Monetary Fund (IMF), (2022), Mexico: Staff Concluding Statement of the 2022 Article IV Mission, Recuperado el 10 de noviembre de 2022 de <https://www.imf.org/en/News/Articles/2022/10/07/cs1072022-mexico-staff-concluding-statement-of-the-2022-article-iv-mission>.

- Jorgenson, Dale W., Ho, Mun S., (2018), The welfare consequences of taxing carbon, *Climate Change Economics*, Vol. 9, No. 1
- Kojima, Satoshi and Asakawa, Kenji, (2016), Carbon pricing: a key instrument to facilitate low carbon transition, Institute for Global Environmental Strategies (2016), Res. Rep. 02915.
- LEY DEL IMPUESTO ESPECIAL SOBRE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS, (2021), Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 1980, TEXTO VIGENTE, Última reforma publicada DOF 12-11-2021, Cuotas actualizadas por Acuerdo DOF 23-12-2021.
- Lin, Boqiang and Li, Xuehui, (2011), The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions, *Energy Policy*, 39, issue 9, p. 5137-5146.
- Marron, Donald B. and Toder, Eric, (2014), Tax Policy Issues in Designing a Carbon Tax, *American Economic Review*, 104, issue 5, p. 563-68.
- Metcalf, Gilbert E., (2019), On the Economics of a Carbon Tax for the United States, *Brookings Papers on Economic Activity*, (SPRING 2019), pp. 405-458.
- Metcalf, Gilbert, (2021), Carbon Taxes in Theory and Practice, *Annual Review of Resource Economics*, 13, issue 1, p. 245-265.
- Piquero, Eduardo, Oronoz, Brian y Santos, Paulina, (2021), Nota Técnica: Impuesto al Carbono en México, Publicado por MÉXICO2.
- Pretis, Felix, (2022), Does a Carbon Tax Reduce CO₂ Emissions? Evidence from British Columbia, *Environmental & Resource Economics*, 83, issue 1, p. 115-144.
- Reynoso, Luis Huesca, Montes, Alejandra López, (2016), Impuestos ambientales al Carbono en México y su progresividad: una revisión analítica, *Economía Informa* núm. 398
- Runst, Petrik and Thonipara, Anita, (2020), Dosis facit effectum why the size of the carbon tax matters: Evidence from the Swedish residential sector, *Energy Economics*, 91, issue C, number S0140988320302383.
- Schmalensee, Richard and Stavins, Robert, (2016), Lessons Learned from Three Decades of Experience with Cap-and-Trade, No 230919, *Climate Change and Sustainable Development*, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), (2022), México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019, Gobierno de México, Primera Edición 2022.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2017), Acciones de México para establecer un mercado de carbono, Recuperado el 03 de septiembre de 2022 de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/acciones-de-mexico-para-establecer-un-mercado-de-carbono>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (s/f), Recuadro: El impuesto al carbono en México, Recuperado el 30 de septiembre de 2022 de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro5_7.html.
- Sen, Suphi and Vollebergh, Herman R.J., (2018), The effectiveness of taxing the carbon content of energy consumption, *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, issue C, p. 74-99.
- Shah, Anwar and Larsen, Bjorn, (2014), Carbon taxes, the greenhouse effect, and developing countries, *Annals of Economics and Finance*, 15, issue 1, p. 353-402.

Stavins, Robert N., (1991), Toward a New Era of Environmental Policy, In *Regulating for the Future: The Creative Balance*, edited by Carol Tucker Foreman, 133–173.

Stavins, Robert N., Adam B, Jaffe, Peterson, Robert N., y Portney, Paul R., (1995), Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us?, *Journal of Economic Literature* 33, 132–163.

Suprema Corte de Justicia de la Nación, (2013), *Gaceta Parlamentaria*: Número 3887-IX, 2013, Fecha de publicación: 22/12/2014, Fecha de expedición: 15/12/2014, Categoría: ACUERDO (S), No. y sección de Publicación: 18 SEGUNDA SECCION, Recuperado el 15 de octubre de 2022 de <https://legislacion.scjn.gob.mx/Buscador/Paginas/wfOrdenamientoDetalle.aspx?q=0ucD2LCACBYFJMtRUjUaXBqb+X7NJj0Dq+9LPX/bOWGbV6hXFeJJGyd01Cyp/JIE>.

Timilsina, Govinda R. (2022), Carbon Taxes, *Journal of Economic Literature*, 60 (4), 1456-1502.

Wooldridge, J.M., *Introducción a la econometría Un enfoque moderno*, 4ª. ed. 2009.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combustibles fósiles gravados en México	8
Tabla 2. Promedio de emisiones de CO2 por sector, 1990-2019	19
Tabla 3. TCA de emisiones de CO2 por sector, 1990-2019	22
Tabla 4. Resultados de estimación de regresión de emisiones de CO2, DD	26
Tabla 5. Desglose del sector Energía	36
Tabla 6. Desglose del sector Procesos industriales y uso de productos	38
Tabla 7. Desglose de sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	40
Tabla 8. Desglose del sector Residuos	42
Tabla 9. Resultados de estimación de regresión de emisiones de CO2, EE	43

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. TCA de Emisiones netas de GEI y PIB, 2001-2019	16
Gráfica 2. Emisiones netas por tipo de GEI, 2000-2019	17
Gráfica 3. Emisiones netas de GEI por sector, 1990-2019	18
Gráfica 4. Emisiones de CO2 por sector, 1990-2019	20
Gráfica 5. TCA de Emisiones de CO2, 2001-2019	20
Gráfica 6. TCA de Emisiones de CO2 por sectores, 1991-2019	23
Gráfica 7. Emisiones de CO2 por fuentes de Energía, 1990-2019	24
Gráfica 8. Emisiones de CO2 por subfuente de Industrias de la Energía, 1990-2019	25
Gráfica 9. Emisiones de CO2 por subfuente de Transporte, 1990-2019	25
Gráfica 10. Estudio de Evento	28
Gráfica 11. Impuesto a los combustibles fósiles vs impuesto a los combustibles automotrices, 1990-2019	29