



<https://doi.org/10.23913/ctes.v13i26.944>

Artículos científicos

Impuesto al carbono y Curva de Laffer ambiental: un análisis teórico aplicado a México

Carbon Tax and Environmental Laffer Curve: A theoretical analysis applied to Mexico

Jaime Antonio Ruiz Hernández

Universidad Juárez del Estado de Durango, México

jaime.ruiz@ujed.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2689-6952>

Ramiro Martínez Cruz

Universidad Politécnica de Texcoco, México

ramiro.martinez@uptex.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3028-0464>

Samuel Rivera López

Universidad Autónoma Chapingo, México

sriveral@chapingo.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3879-2782>

Rafael Rodríguez Vázquez

Universidad Juárez del Estado de Durango, México

rafael.rodriguez@ujed.mx

<https://orcid.org/0009-0006-0273-3154>

Resumen

El objetivo del presente estudio fue analizar el impuesto al carbono en México mediante un enfoque teórico-matemático que vincula la tributación pigouviana con la Curva de Laffer ambiental. Para ello, se construyó una simulación calibrada de forma reducida con parámetros del *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional para México. El modelo estimó la relación entre precio al

carbono, emisiones remanentes, recaudación potencial y bienestar parcial bajo distintos escenarios de política fiscal ambiental. Bajo los supuestos de la simulación, los resultados muestran que, en niveles moderados de precio, la función calibrada se ubica en el tramo ascendente de la Curva de Laffer ambiental, por lo que la recaudación potencial aumenta mientras las emisiones disminuyen. No obstante, el máximo recaudatorio no coincide necesariamente con el mayor bienestar parcial, lo que permite distinguir entre un criterio fiscal y un criterio pigouviano. Asimismo, el reciclaje de ingresos, entendido como la reasignación de una proporción de la recaudación, modifica la evaluación del instrumento al ampliar el rango de escenarios compatibles con bienestar parcial positivo. Se concluye que el impuesto al carbono en México debe analizarse como un instrumento de corrección ambiental cuyo desempeño depende del nivel del precio, la respuesta de la base contaminante y el uso institucional de la recaudación.

Palabras clave: impuesto al carbono; Curva de Laffer ambiental; tributación pigouviana; recaudación potencial; México.

Abstract

The objective of this study was to analyze the carbon tax in Mexico through a theoretical-mathematical approach that links Pigouvian taxation with the environmental Laffer curve. To this end, a calibrated reduced-form simulation was constructed using parameters from the International Monetary Fund's *Carbon Pricing Assessment Tool* for Mexico. The model estimated the relationship among carbon pricing, remaining emissions, potential revenue, and partial welfare under alternative environmental fiscal policy scenarios. Under the assumptions of the simulation, the results show that, at moderate price levels, the calibrated function lies on the upward-sloping segment of the environmental Laffer curve; consequently, potential revenue increases while emissions decline. However, the revenue-maximizing price does not necessarily coincide with the highest partial welfare outcome, allowing for a distinction between a fiscal criterion and a Pigouvian criterion. Furthermore, revenue recycling—understood as the reallocation of a proportion of tax revenue—modifies the assessment of the instrument by expanding the range of scenarios compatible with positive partial welfare. The study concludes that the carbon tax in Mexico should be analyzed as an environmental policy instrument designed to correct externalities, whose performance depends on the price level, the response of the emissions base, and the institutional use of the revenue generated.

Keywords: carbon tax; environmental Laffer Curve; Pigouvian taxation; potential revenue; Mexico.

Fecha Recepción: abril 2026

Fecha Aceptación: julio 2026

Introducción

El cambio climático representa una de las externalidades ambientales negativas más relevantes asociadas al crecimiento económico, la producción energética y el consumo de combustibles fósiles. Cuando el precio de dichos combustibles no refleja el daño ambiental generado por sus emisiones, las decisiones privadas de producción y consumo se toman con base en costos inferiores a los costos sociales. Esta divergencia entre costo privado y costo social justifica el uso de instrumentos económicos orientados a modificar los incentivos de los agentes y a incorporar el daño ambiental dentro del sistema de precios (Fullerton & Kim, 2008; Metcalf, 2009).

Los impuestos ambientales constituyen uno de los mecanismos más utilizados para corregir este tipo de externalidades, debido a que trasladan parte del daño ambiental al precio de la actividad contaminante. Desde el enfoque pigouviano, entendido como la corrección de una externalidad mediante un impuesto asociado al daño marginal social, el gravamen debe aproximarse al costo generado por la contaminación. En el caso del carbono, Metcalf (2009) sostiene que el diseño de un impuesto de esta naturaleza debe partir del daño marginal asociado a una tonelada adicional de CO₂ equivalente, aunque las estimaciones de dicho daño varían según los supuestos climáticos, económicos y distributivos considerados.

El impuesto al carbono tiene una característica que lo distingue de los tributos convencionales: su propósito correctivo busca inducir una reducción gradual de la propia base gravable. Mientras que en un impuesto sobre ingreso, consumo o patrimonio una contracción de la base suele interpretarse como un deterioro de la capacidad recaudatoria, en un impuesto ambiental la reducción de la base contaminante puede representar un resultado deseable, siempre que derive de menores emisiones y no de fallas de cobertura, evasión o sustitución hacia fuentes no gravadas. Budolfson *et al.* (2021) muestran que esta condición modifica la interpretación fiscal del precio al carbono, porque la recaudación puede crecer en una primera etapa y disminuir posteriormente conforme avanza la descarbonización.

La Curva de Laffer permite representar la relación no lineal entre tasa impositiva y recaudación, cuya forma empírica depende de la elasticidad de la base gravable. En su formulación clásica, los ingresos fiscales aumentan inicialmente con la tasa, pero pueden reducirse cuando la carga tributaria contrae la base gravable (Laffer, 2004). En el campo ambiental, esta relación adquiere una lectura distinta: la disminución de la base no necesariamente indica fracaso del instrumento, sino posible reducción de emisiones. En consecuencia, el máximo recaudatorio de un impuesto al carbono no debe confundirse con el precio ambientalmente deseable ni con el nivel que genera mayor bienestar parcial¹.

La noción de *carbon Laffer curve* permite articular esta diferencia, en tanto la recaudación depende simultáneamente del precio aplicado por tonelada de CO₂ y del volumen de emisiones remanentes. Si el impuesto induce sustitución energética, eficiencia tecnológica o menor consumo de combustibles fósiles, la base gravable tiende a reducirse. En consecuencia, el análisis del impuesto al carbono requiere observar de manera conjunta la recaudación potencial, la reducción de emisiones y el bienestar parcial asociado al diseño de la política.

México incorporó un gravamen al carbono a partir de 2014, mediante la reforma a la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios publicada el 11 de diciembre de 2013, en la cual se establecieron cuotas aplicables a diversos combustibles fósiles, diferenciadas según el tipo de energético y su contenido de carbono (Cámara de Diputados, 2013a). Desde la discusión parlamentaria de la iniciativa, el gravamen se planteó como un instrumento orientado a desincentivar el uso de combustibles fósiles, promover mayor eficiencia energética, estimular la innovación y favorecer la adopción de tecnologías verdes (Cámara de Diputados, 2013b). Sin embargo, Black *et al.* (2021) señalan que, pese a su fundamento ambiental, el impuesto mexicano ha operado con niveles de precio reducidos y con exenciones relevantes, particularmente en el gas natural, lo que limita su capacidad para inducir una señal ambiental más amplia. En este contexto, el caso mexicano permite desarrollar una simulación calibrada para examinar la relación entre precio al carbono, recaudación potencial, emisiones y bienestar parcial bajo escenarios de fortalecimiento gradual del instrumento. El interés analítico no consiste únicamente en determinar si una tasa mayor elevaría la recaudación, sino en observar si dicho aumento también sería compatible, bajo los supuestos del modelo, con una reducción de emisiones y con una mejora del indicador de bienestar parcial.

¹ En este estudio, el bienestar parcial se define como $\Delta W_s = BA_s + \rho R_s - CA_s$, donde BA_s es el beneficio ambiental monetizado por emisiones evitadas, CA_s el costo aproximado de abatimiento y ρR_s la recaudación reciclada efectiva.

Esta distinción resulta relevante porque el impuesto al carbono se ubica en la intersección de tres objetivos de política pública: corrección ambiental, capacidad fiscal y sostenibilidad social.

Varga *et al.* (2022) muestran que los costos de la transición climática pueden reducirse cuando la recaudación de impuestos al carbono se utiliza para disminuir impuestos distorsionantes o subsidiar energía limpia. De forma complementaria, Budolfson *et al.* (2021) encuentran que el reciclaje de ingresos puede modificar los efectos sobre pobreza, desigualdad y bienestar. El reciclaje de ingresos se entiende como la redistribución de una parte de la recaudación hacia fines sociales, fiscales o ambientales en los escenarios simulados.

El problema de investigación se formula como una pregunta teórica aplicada: ¿cómo se relacionan el precio al carbono, la reducción de emisiones, la recaudación potencial y el bienestar parcial en México bajo el marco de la Curva de Laffer ambiental? Esta aproximación permite evitar una lectura exclusivamente fiscal del impuesto y lo ubica como un instrumento de corrección ambiental cuyo desempeño depende de la interacción entre precio, base contaminante, ingresos generados y uso potencial de la recaudación.

El objetivo del presente estudio es analizar el impuesto al carbono en México mediante un enfoque teórico-matemático que vincula la tributación pigouviana con la Curva de Laffer ambiental, a partir de una simulación calibrada de forma reducida orientada a estimar sus efectos potenciales sobre la recaudación, emisiones y bienestar parcial. Para ello, se utilizan parámetros del *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional reportados por Black *et al.* (2021), considerando escenarios graduales de precio al carbono y una malla de valores para identificar el máximo recaudatorio interno de la curva.

La proposición analítica del estudio sostiene que, bajo la calibración empleada para México, la función calibrada asociada al impuesto al carbono se ubica en el tramo ascendente de la Curva de Laffer ambiental para precios moderados, de modo que un aumento gradual del precio puede incrementar la recaudación potencial y reducir emisiones dentro del modelo. Asimismo, se plantea que el máximo recaudatorio no coincide necesariamente con el mayor bienestar parcial y que el reciclaje de ingresos modifica la evaluación del instrumento.

Materiales y métodos

Se construyó una simulación determinística estática de forma reducida para estimar el comportamiento potencial de la recaudación, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el bienestar parcial ante distintos niveles de precio al carbono en México.

El caso de estudio fue México. La variable de política fue el precio al carbono aplicado a emisiones de CO₂, expresado en dólares estadounidenses por tonelada de CO₂. La simulación se calibró con los parámetros reportados por Black *et al.* (2021) para escenarios de política climática estimados mediante el *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional.

El estudio utilizó como referencia el escenario para México estimado en *A Comprehensive Climate Mitigation Strategy for Mexico*, documento de trabajo del Fondo Monetario Internacional elaborado por Black *et al.* (2021). En dicho trabajo se emplea el *Carbon Pricing Assessment Tool* para evaluar escenarios de precio al carbono, emisiones e ingresos fiscales asociados a la política climática hacia 2030.

El procesamiento se realizó mediante Microsoft Excel, aplicando las ecuaciones descritas en este apartado. A partir de los parámetros de calibración, se estimaron las emisiones remanentes, las emisiones evitadas, la recaudación potencial, el beneficio ambiental, el costo de abatimiento y el bienestar parcial bajo distintos escenarios de precio al carbono.

Datos y parámetros de calibración

Los datos centrales de calibración se tomaron del escenario para México estimado mediante el *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional. En particular, se utilizaron tres valores reportados por Black *et al.* (2021) para dicho escenario: un precio al carbono de 75 USD/tCO₂ hacia 2030, una reducción de emisiones de CO₂ de 23% respecto al escenario base y una recaudación potencial de 26,000 millones de dólares.

El escenario de 75 USD/tCO₂ fue utilizado como punto ancla de la simulación, es decir, como valor de referencia para calibrar la base contaminante inicial y el parámetro de respuesta de las emisiones. Los escenarios de 25 y 50 USD/tCO₂ se construyeron como valores intermedios para observar el

comportamiento de la recaudación, las emisiones y el bienestar parcial bajo una trayectoria gradual de precio al carbono.

La recaudación de 26,000 millones de dólares se interpretó como recaudación potencial bajo el escenario de 75 USD/tCO₂. Por tanto, no corresponde a la recaudación observada del Gobierno Federal mexicano ni representa una predicción oficial de ingresos fiscales, sino a la estimación reportada por el Fondo Monetario Internacional para un escenario de fortalecimiento del precio al carbono.

Los parámetros empleados fueron los siguientes:

Tabla 1. *Parámetros empleados*

Parámetro	Valor	Unidad
Precio ancla del carbono	75	USD/tCO ₂
Reducción de emisiones al precio ancla	23	%
Recaudación potencial al precio ancla	26,000	millones de USD
Recaudación respecto al PIB	1.8	%
Costo social del carbono de referencia (CSC)	75	USD/tCO ₂
Malla de precios simulados	0–400	USD/tCO ₂

Fuente: elaboración propia con base en Black *et al.* (2021).

Nota: USD = dólares estadounidenses; PIB = producto interno bruto; tCO₂ = tonelada de CO₂; MtCO₂ = millones de toneladas de CO₂. El CSC se utiliza como parámetro de referencia para monetizar emisiones evitadas.

Especificación teórica del modelo

La especificación teórica se fundamentó en el enfoque pigouviano de la tributación ambiental. De acuerdo con este planteamiento, un impuesto ambiental debe corregir una externalidad negativa mediante la incorporación del daño marginal social en el precio de la actividad contaminante.

Sea E el nivel de emisiones de CO₂, $B(E)$ el beneficio privado asociado a la actividad económica que genera emisiones y $D(E)$ el daño ambiental provocado por dichas emisiones. Bajo este planteamiento, el bienestar social se expresó como:

$$W(E) = B(E) - D(E)$$

El nivel eficiente de emisiones se obtiene, bajo los supuestos de diferenciabilidad y concavidad, cuando el beneficio marginal privado se iguala al daño marginal ambiental:

$$B'(E) = D'(E)$$

De esta condición se deriva que el impuesto pigouviano por tonelada emitida debe aproximarse al daño marginal generado por una tonelada adicional de CO₂ en el nivel eficiente de emisiones:

$$\tau^P = D'(E^*)$$

Este planteamiento es consistente con Metcalf (2009), quien señala que el diseño de un impuesto al carbono debe partir del daño marginal social de las emisiones de gases de efecto invernadero, expresado en unidades monetarias por tonelada de CO₂ equivalente. No obstante, el mismo autor advierte que las estimaciones del daño marginal climático presentan variaciones importantes, asociadas a la tasa de descuento, el horizonte temporal, los daños considerados y los supuestos distributivos, por lo que el precio óptimo del carbono no puede reducirse a un único valor universalmente aceptado.

A partir de la lógica pigouviana se formuló la Curva de Laffer ambiental. La recaudación derivada del precio al carbono se definió como:

$$R(\tau) = \tau E(\tau)$$

donde $R(\tau)$ representa la recaudación potencial, τ el precio del carbono y $E(\tau)$ la base contaminante gravada. En un impuesto ambiental, la base gravable corresponde al flujo de emisiones. Por ello, si el impuesto opera como incentivo correctivo, el modelo asume que:

$$E'(\tau) < 0$$

El máximo recaudatorio se obtiene al derivar la función de recaudación respecto al precio del carbono. La condición de primer orden es:

$$\frac{dR}{d\tau} = E(\tau) + \tau E'(\tau) = 0$$

lo cual equivale a:

$$\varepsilon_{E,\tau} = -1$$

Esta condición indica que la recaudación alcanza su máximo cuando la elasticidad de la base contaminante respecto al precio del carbono es igual a -1 . En términos ambientales, dicho máximo no necesariamente coincide con el mayor bienestar parcial, porque una disminución de la recaudación puede reflejar una reducción efectiva de emisiones. Budolfson *et al.* (2021) desarrollan esta idea bajo el concepto de *carbon Laffer curve*, al mostrar que la recaudación aumenta inicialmente y después disminuye conforme la descarbonización reduce la base gravable.

Calibración de la función de emisiones

La función de emisiones se especificó como una forma reducida, log-lineal en el precio del carbono, calibrada con el escenario de 75 USD/tCO₂ reportado para México por el Fondo Monetario Internacional. Esta forma funcional fue seleccionada porque garantiza emisiones positivas para cualquier nivel de precio, establece una relación decreciente entre el precio del carbono y las emisiones, permite reproducir el punto ancla de reducción de emisiones con un solo parámetro. Asimismo, esta especificación genera un máximo recaudatorio interno en la Curva de Laffer ambiental.

La función utilizada fue:

$$E(\tau) = E_0 e^{-k\tau}$$

donde E_0 representa las emisiones del escenario base; k es el parámetro de respuesta de las emisiones ante el precio del carbono; y τ representa el precio al carbono. Esta especificación equivale a suponer que el logaritmo natural de las emisiones disminuye linealmente conforme aumenta el precio del carbono:

$$\ln E(\tau) = \ln E_0 - k\tau$$

Primero se estimó la base contaminante remanente en el escenario de 75 USD/tCO₂. Dado que el *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional estima una recaudación potencial de 26,000 millones de dólares bajo ese precio, se obtuvo²:

$$E_{75} = \frac{R_{75}}{\tau_{75}}$$

$$E_{75} = \frac{26,000}{75} = 346.67 \text{ MtCO}_2$$

Como el mismo escenario reporta una reducción de emisiones de 23%, las emisiones remanentes representan 77% del escenario base. En consecuencia:

$$E_{75} = 0.77E_0$$

$$E_0 = \frac{346.67}{0.77} = 450.22 \text{ MtCO}_2$$

El parámetro k se calibró imponiendo que el modelo reprodujera la reducción de 23% bajo el precio de 75 USD/tCO₂:

$$E(75) = 0.77E_0$$

$$E_0 e^{-75k} = 0.77E_0$$

$$k = \frac{-\ln(0.77)}{75}$$

$$k = 0.003485$$

Por tanto, la función de emisiones empleada en la simulación fue:

$$E(\tau) = 450.22e^{-0.003485\tau}$$

² Este valor no representa una observación directa de emisiones gravadas, sino una base contaminante implícita derivada del escenario de calibración.

Simulación y medición del bienestar parcial

La simulación principal consideró tres escenarios de precio al carbono: 25, 50 y 75 USD/tCO₂. El primer escenario representa un precio bajo; el segundo, una trayectoria intermedia; y el tercero, el escenario ancla asociado al análisis del Fondo Monetario Internacional para México.

Para identificar el máximo recaudatorio de la Curva de Laffer ambiental, se construyó una malla de valores entre 0 y 400 USD/tCO₂, con incrementos de 25 USD/tCO₂. Para cada escenario se calcularon las emisiones remanentes:

$$E_s = E_0 e^{-k\tau_s}$$

las emisiones evitadas:

$$\Delta E_s = E_0 - E_s$$

la reducción porcentual respecto al escenario base:

$$Red_s = \frac{\Delta E_s}{E_0} \times 100$$

y la recaudación potencial:

$$R_s = \tau_s E_s$$

Cuando E_s se expresa en millones de toneladas de CO₂ y τ_s en dólares por tonelada de CO₂, la recaudación potencial R_s queda expresada en millones de dólares estadounidenses.

El bienestar parcial se calculó a partir del beneficio ambiental por emisiones evitadas y del costo económico aproximado del abatimiento³. El beneficio ambiental se estimó como:

$$BA_s = \Delta E_s \cdot CSC$$

³ El indicador se interpreta como una medida parcial del resultado neto de la simulación, acotado a los componentes definidos en el modelo.

donde CSC representa el costo social del carbono utilizado como parámetro de referencia. Para los resultados centrales se utilizó $CSC = 75$ USD/tCO₂. Este valor se adoptó para monetizar las emisiones evitadas dentro del ejercicio de simulación, manteniendo correspondencia con el escenario ancla de precio al carbono.

El costo económico aproximado del abatimiento se calculó mediante una aproximación triangular:

$$CA_s = \frac{1}{2} \tau_s \Delta E_s$$

Esta expresión se empleó como medida parsimoniosa del costo de reducir emisiones bajo una curva marginal de abatimiento lineal desde cero hasta el precio al carbono correspondiente. En consecuencia, el bienestar parcial sin reciclaje de ingresos se definió como:

$$\Delta W_s = BA_s - CA_s$$

De manera complementaria, se incorporó el reciclaje de ingresos mediante la expresión:

$$\Delta W_s = BA_s + \rho R_s - CA_s$$

donde ρ representa el coeficiente de reciclaje efectivo de la recaudación. Este coeficiente aproxima la proporción de ingresos que retorna al bienestar mediante compensaciones, reducción de impuestos distorsionantes o inversión ambiental dentro de los escenarios simulados. Se evaluaron cuatro valores: $\rho = 0$, $\rho = 0.25$, $\rho = 0.50$ y $\rho = 1.00$. Estos escenarios se utilizaron para medir la sensibilidad del bienestar parcial al uso de la recaudación. Budolfson *et al.* (2021) muestran que el reciclaje progresivo de ingresos del carbono puede modificar los efectos de pobreza, desigualdad y bienestar; asimismo, Varga *et al.* (2022) encuentran que el reciclaje de ingresos de impuestos al carbono puede reducir costos cuando se orienta a disminuir impuestos distorsionantes o subsidiar energía limpia.

Cálculo del máximo recaudatorio

El punto máximo de recaudación se identificó analíticamente a partir de la función:

$$R(\tau) = \tau E_0 e^{-k\tau}$$

Donde $\tau \geq 0$. Dado que:

$$\frac{dR}{d\tau} = E_0 e^{-k\tau} (1 - k\tau)$$

la condición de primer orden se cumple cuando:

$$1 - k\tau = 0$$

por lo que:

$$\tau^* = \frac{1}{k}$$

La condición de segundo orden confirma que se trata de un máximo interno del modelo, ya que:

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} = -kE_0 e^{-k\tau} (2 - k\tau)$$

y, al evaluar $\tau^* = 1/k$, se obtiene:

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} = -kE_0 e^{-1} < 0$$

Con $k = 0.003485$, el precio que maximiza la recaudación simulada es:

$$\tau^* = 286.96 \text{ USD/tCO}_2$$

Este valor corresponde al máximo recaudatorio interno del modelo. No representa una recomendación fiscal, un precio pigouviano, una estimación causal ni un pronóstico de recaudación, sino el punto en el

cual, bajo la función calibrada, la reducción de la base contaminante comienza a dominar el efecto aritmético del incremento del precio.

Resultados

La simulación permitió estimar la trayectoria de emisiones, recaudación potencial y el bienestar parcial bajo distintos precios al carbono. A partir del escenario de calibración se obtuvo una base contaminante inicial de 450.22 MtCO₂ y un parámetro de respuesta $k = 0.003485$, valores que permitieron construir la función de emisiones y la Curva de Laffer ambiental simulada.

La Tabla 2 presenta los resultados principales para tres escenarios de precio al carbono: 25, 50 y 75 USD/tCO₂. El escenario de 25 USD/tCO₂ reduce las emisiones en 8.34% y genera una recaudación potencial de 10,316.32 millones de dólares. El escenario de 50 USD/tCO₂ reduce las emisiones en 15.99% y eleva la recaudación a 18,911.18 millones de dólares. El escenario ancla de 75 USD/tCO₂ reproduce el punto de calibración, con emisiones remanentes de 346.67 MtCO₂, emisiones evitadas de 103.55 MtCO₂ y una recaudación de 26,000 millones de dólares.

Tabla 2. *Emisiones, reducción ambiental y recaudación potencial bajo escenarios de precio al carbono*

Precio al carbono (USD/tCO ₂)	Emisiones remanentes (MtCO ₂)	Emisiones evitadas (MtCO ₂)	Reducción de emisiones (%)	Recaudación potencial (millones de USD)	Recaudación potencial (% del PIB)
25	412.65	37.56	8.34	10,316.32	0.71
50	378.22	71.99	15.99	18,911.18	1.31
75	346.67	103.55	23.00	26,000.00	1.80

Fuente: elaboración propia con base en los parámetros calibrados de Black *et al.* (2021).

Nota: la recaudación como porcentaje del PIB se calculó a partir del PIB implícito derivado del escenario ancla. Los valores corresponden a una simulación calibrada y no a recaudación observada del Gobierno Federal mexicano.

Bajo la calibración utilizada, los resultados muestran una relación inicial positiva entre el precio al carbono y la recaudación potencial. Conforme el precio aumenta de 25 a 75 USD/tCO₂, la recaudación también aumenta, a pesar de que la base contaminante disminuye. Este resultado indica que, dentro del rango de precios considerado en los escenarios principales, el efecto aritmético del mayor precio por tonelada domina la reducción de la base gravable.

La Tabla 3 presenta valores seleccionados de la simulación hasta 400 USD/tCO₂ para identificar la forma de la Curva de Laffer ambiental. La recaudación continúa aumentando después del escenario de 75 USD/tCO₂ y alcanza su máximo analítico interno en 286.96 USD/tCO₂, con una recaudación potencial de 47,527.08 millones de dólares. A partir de ese punto, la recaudación comienza a disminuir debido a que la contracción de la base contaminante domina el incremento del precio al carbono.

Tabla 3. *Valores seleccionados de la Curva de Laffer ambiental simulada*

Precio al carbono (USD/tCO₂)	Emisiones remanentes (MtCO₂)	Reducción de emisiones (%)	Recaudación potencial (millones de USD)	Recaudación potencial (% del PIB)
25	412.65	8.34	10,316.32	0.71
50	378.22	15.99	18,911.18	1.31
75	346.67	23.00	26,000.00	1.80
100	317.74	29.42	31,774.28	2.20
150	266.93	40.71	40,040.00	2.77
200	224.25	50.19	44,849.74	3.10
250	188.39	58.16	47,097.42	3.26
286.96	165.63	63.21	47,527.08	3.29
300	158.26	64.85	47,479.43	3.29
350	132.96	70.47	46,534.97	3.22
400	111.70	75.19	44,678.50	3.09

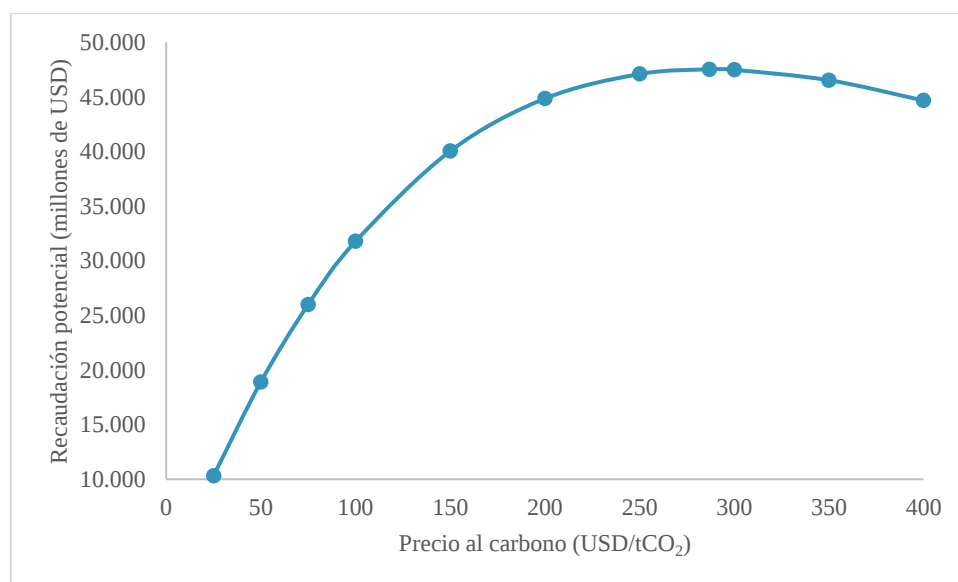
Fuente: elaboración propia.

Nota: El precio de 286.96 USD/tCO₂ corresponde al máximo analítico interno del modelo y fue añadido como punto específico de referencia.

La simulación reproduce la forma no lineal esperada bajo la función de emisiones especificada. En los primeros tramos, el aumento del precio al carbono incrementa la recaudación porque la reducción de emisiones es proporcionalmente menor que el aumento del precio. Sin embargo, una vez superado el punto de máxima recaudación, la disminución de la base gravable reduce los ingresos potenciales, aun cuando el precio por tonelada continúa aumentando.

La Figura 1 representa la relación entre el precio al carbono y la recaudación potencial. La trayectoria muestra un tramo ascendente entre 0 y 286.96 USD/tCO₂ y un tramo descendente posterior, lo que muestra que, dentro del modelo, la reducción de emisiones puede terminar reduciendo la base fiscal del impuesto.

Figura 1. *Curva de Laffer ambiental simulada para México*



Fuente: elaboración propia.

El indicador de bienestar parcial se calculó considerando un costo social del carbono de 75 USD/tCO₂. La Tabla 4 muestra que, sin reciclaje de ingresos, el bienestar parcial es positivo en los escenarios de 25, 50, 75 y 100 USD/tCO₂. En el escenario de 150 USD/tCO₂, el beneficio ambiental y el costo de abatimiento se igualan, por lo que el bienestar parcial neto es igual a cero. A partir de 200 USD/tCO₂, el bienestar parcial sin reciclaje se vuelve negativo.

Tabla 4. *Bienestar parcial sin reciclaje de ingresos*

Precio al carbono (USD/tCO₂)	Beneficio ambiental (millones de USD)	Costo de abatimiento (millones de USD)	Bienestar parcial sin reciclaje (millones de USD)
25	2,817.26	469.54	2,347.72
50	5,399.47	1,799.82	3,599.65
75	7,766.23	3,883.12	3,883.12
100	9,935.53	6,623.68	3,311.84
150	13,746.23	13,746.23	0.00
200	16,947.58	22,596.77	-5,649.19
250	19,637.01	32,728.35	-13,091.34
286.96	21,344.33	40,832.46	-19,488.13

Fuente: elaboración propia.

Nota: los valores negativos indican que el costo estimado de abatimiento supera el beneficio ambiental monetizado.

Estos resultados permiten distinguir entre el máximo recaudatorio y el comportamiento del bienestar parcial sin reciclaje. Aunque la recaudación potencial alcanza su punto máximo alrededor de 286.96 USD/tCO₂, el bienestar parcial sin reciclaje se vuelve negativo antes de ese nivel. Entre los precios evaluados, el mayor valor del indicador de bienestar parcial sin reciclaje se observa en 75 USD/tCO₂; por tanto, el precio que maximiza la recaudación no coincide con el mayor valor del indicador de bienestar parcial entre los precios evaluados.

La Tabla 5 incorpora escenarios de reciclaje de ingresos. Cuando se recicla el 25% de la recaudación, el bienestar parcial mejora en todos los escenarios hasta 200 USD/tCO₂, aunque se vuelve negativo en niveles más altos. Con reciclaje del 50%, el bienestar permanece positivo en los valores presentados hasta 300 USD/tCO₂. Con reciclaje total, el bienestar parcial se mantiene positivo en todos los escenarios presentados.

Tabla 5. Bienestar parcial bajo escenarios de reciclaje de ingresos

Precio al carbono (USD/tCO ₂)	Sin reciclaje (millones de USD)	Reciclaje del 25% (millones de USD)	Reciclaje del 50% (millones de USD)	Reciclaje del 100% (millones de USD)
25	2,347.72	4,926.80	7,505.88	12,664.04
50	3,599.65	8,327.44	13,055.24	22,510.82
75	3,883.12	10,383.12	16,883.12	29,883.12
100	3,311.84	11,255.41	19,198.98	35,086.12
150	0.00	10,010.00	20,020.00	40,040.00
200	-5,649.19	5,563.24	16,775.68	39,200.55
250	-13,091.34	-1,316.98	10,457.37	34,006.08
286.96	-19,488.13	-7,606.36	4,275.41	28,038.95
300	-21,896.38	-10,026.52	1,843.34	25,583.06

Fuente: elaboración propia.

Nota: las columnas de reciclaje se calculan mediante $\Delta W_S = BA_S + \rho R_S - CA_S$, con $\rho = 0.25$, $\rho = 0.50$ y $\rho = 1.00$, respectivamente.

El reciclaje de ingresos modifica sustancialmente la valoración del impuesto en la simulación. Sin reciclaje, el aumento del precio al carbono puede generar beneficios ambientales, pero también costos de abatimiento crecientes. En cambio, cuando una proporción de la recaudación se destina a compensaciones, reducción de impuestos distorsionantes o inversión ambiental, el bienestar parcial mejora y se amplía el rango de precios compatibles con resultados positivos. Este resultado es consistente con Varga *et al.* (2022), quienes muestran que los costos de las políticas de mitigación pueden reducirse cuando los ingresos de impuestos al carbono se reciclan para disminuir otros impuestos o subsidiar tecnologías limpias.

En conjunto, los resultados muestran tres hallazgos centrales. Primero, bajo la calibración utilizada, los escenarios de 25, 50 y 75 USD/tCO₂ se ubican en el tramo ascendente de la Curva de Laffer ambiental. Segundo, la máxima recaudación simulada se alcanza en un precio considerablemente superior al escenario de referencia de 75 USD/tCO₂, sin que ello constituya una estimación empírica del precio fiscalmente óptimo. Tercero, el bienestar parcial depende de manera crítica del tratamiento de la

recaudación, pues el reciclaje de ingresos modifica sustancialmente la comparación entre beneficio ambiental y costo económico.

Discusión

La simulación realizada muestra que, bajo la función calibrada, el impuesto al carbono presenta un comportamiento fiscal no lineal cuando la base gravable corresponde a emisiones de CO₂. Este resultado se articula con la formulación clásica de Laffer (2004), aunque exige una interpretación distinta a la de los impuestos convencionales. Mientras que en un impuesto sobre ingreso o consumo la contracción de la base suele interpretarse como una pérdida de capacidad recaudatoria, en un impuesto ambiental dicha contracción puede representar precisamente el cumplimiento del objetivo correctivo. Por ello, la Curva de Laffer ambiental no debe entenderse como una regla para maximizar ingresos, sino como un marco para observar la tensión entre recaudación, reducción de emisiones y bienestar parcial.

El comportamiento obtenido en la simulación coincide con la idea de *carbon Laffer curve* planteada por Budolfson *et al.* (2021). En su análisis, los ingresos derivados del precio al carbono aumentan en etapas iniciales, pero disminuyen conforme avanza la descarbonización y se reduce la base sujeta al impuesto. El resultado estimado para México reproduce esa lógica general en una simulación calibrada: el incremento del precio al carbono eleva inicialmente la recaudación, pero la reducción progresiva de emisiones impone un límite estructural al potencial fiscal del instrumento. Esta coincidencia no implica que ambos ejercicios sean equivalentes, porque Budolfson *et al.* desarrollan un modelo global con énfasis distributivo, mientras que este estudio utiliza una simulación estática de forma reducida calibrada para México.

El escenario de referencia empleado en el análisis procede del estudio de Black *et al.* (2021), quienes estiman para México los efectos de distintos precios al carbono mediante el *Carbon Pricing Assessment Tool* del Fondo Monetario Internacional. La presente investigación no replica la estructura completa de ese modelo, sino que toma sus parámetros centrales para construir una representación más simple de la relación entre precio, emisiones y recaudación. Esta diferencia metodológica es importante: el resultado no debe leerse como una proyección alternativa al modelo del FMI, sino como una aplicación formal de sus parámetros a una Curva de Laffer ambiental.

La comparación con Metcalf (2009) permite precisar el alcance normativo de los resultados. El autor sostiene que el diseño de un impuesto al carbono debe vincularse al daño marginal social de las emisiones y no solo a la capacidad de generar ingresos. En la simulación, el precio que maximiza la recaudación no coincide con el nivel en el que el bienestar parcial sin reciclaje resulta más favorable. Esta divergencia permite distinguir que el criterio recaudatorio y el criterio pigouviano pueden conducir a interpretaciones distintas, por lo que el máximo de la Curva de Laffer ambiental no debe confundirse con el precio ambientalmente deseable del carbono.

La advertencia de Sanz-Sanz (2022) sobre las Curvas de Laffer resulta pertinente para matizar los hallazgos. Su trabajo muestra que los modelos que omiten costos administrativos, costos de cumplimiento y efectos sobre otras fuentes tributarias pueden sobreestimar el punto de máxima recaudación. Aunque su análisis se refiere al impuesto sobre la renta personal, el principio metodológico se mantiene para el caso ambiental: una Curva de Laffer construida con una función agregada de emisiones identifica un máximo interno del modelo, pero no incorpora todas las fricciones fiscales, institucionales y sectoriales que afectarían la recaudación efectiva.

El resultado sobre reciclaje de ingresos se encuentra en la misma dirección que Varga *et al.* (2022), quienes muestran que los costos de la transición climática pueden reducirse cuando los ingresos de impuestos al carbono se emplean para disminuir impuestos distorsionantes o subsidiar energía limpia. En el presente estudio, el bienestar parcial aumenta conforme crece la proporción de recaudación reciclada, la cual deriva de la forma en que el parámetro de reciclaje se incorpora al indicador. Esto sugiere que el uso de los ingresos no es un elemento accesorio del diseño fiscal ambiental, sino un componente que puede modificar la evaluación social del impuesto.

Budolfson *et al.* (2021) también destacan que el reciclaje de ingresos puede alterar los efectos de pobreza, desigualdad y bienestar asociados al precio al carbono. La simulación realizada no incorpora hogares, regiones ni deciles de ingreso, por lo que no permite estimar impactos distributivos específicos para México. Sin embargo, el cambio observado en el bienestar parcial cuando se introduce reciclaje es congruente con su argumento general: el resultado social de un impuesto al carbono depende no solo del precio y de la reducción de emisiones, sino también del destino de la recaudación.

Abrell *et al.* (2018) muestran que una regla uniforme de precio a las emisiones puede aproximarse a una solución eficiente bajo determinadas condiciones, aunque los efectos distributivos dependen de la heterogeneidad de los hogares y de los esquemas de compensación. Esta observación permite delimitar el alcance del modelo utilizado. El precio uniforme por tonelada de CO₂ es adecuado para una simulación agregada, pero sus implicaciones distributivas reales dependerían de patrones de consumo energético, ingreso, región, tipo de vivienda, movilidad y acceso a sustitutos tecnológicos.

Aubert y Chiroleu-Assouline (2019) advierten que las reformas fiscales ambientales pueden tener efectos regresivos cuando los bienes gravados son necesarios o presentan demanda relativamente inelástica. Este punto resulta especialmente relevante para México, porque el consumo de combustibles, transporte y energía puede representar una proporción mayor del gasto en hogares de menores ingresos. Así, aunque el modelo muestra mejoras de bienestar bajo escenarios de reciclaje, no puede concluir que el impuesto sea progresivo sin analizar la estructura de gasto de los hogares y el mecanismo específico de devolución o compensación.

Cullenward *et al.* (2016) encuentran que los efectos distributivos de las políticas climáticas dependen de manera significativa del diseño de devolución de ingresos. Su evidencia refuerza la interpretación de que el reciclaje modifica la valoración del impuesto, pero también señala un límite del presente estudio. La simulación trabaja con bienestar parcial agregado, no con incidencia por grupos sociales. Por tanto, los resultados permiten identificar la relevancia del reciclaje, pero no sustituyen una evaluación distributiva con microdatos de ingreso y gasto.

Bento *et al.* (2018) introducen una consideración adicional para economías donde la informalidad puede alterar la incidencia de los impuestos ambientales. Su análisis muestra que los impuestos a la energía interactúan con actividades informales y pueden modificar los costos de eficiencia. En el caso mexicano, la informalidad podría afectar la transmisión del precio al carbono, la sustitución entre bienes, la absorción del impuesto por empresas y la respuesta efectiva de consumidores.

Caldara *et al.* (2019) muestran que las elasticidades de oferta y demanda en mercados petroleros son determinantes para explicar cambios en precios y cantidades. Esta referencia ayuda a ubicar una de las

principales restricciones del modelo: la respuesta de emisiones se calibra con un punto de referencia externo y no con una elasticidad estimada directamente para México. Además, el parámetro de respuesta utilizado en la simulación opera como una semielasticidad respecto al precio, no como una elasticidad constante. Si la demanda de combustibles fuera más inelástica que la implícita en la calibración, la recaudación sería mayor y la reducción de emisiones menor; si fuera más elástica, ocurriría lo contrario.

Cornevin *et al.* (2024) señalan que la relación entre ingresos tributarios y actividad económica cambia según el método de estimación, el horizonte temporal y las características institucionales de cada país. Aunque su estudio se centra en flotabilidad y elasticidad tributaria, su aportación permite matizar la lectura fiscal del presente ejercicio. La simulación calcula recaudación como producto entre precio y emisiones remanentes, sin incorporar retroalimentaciones macroeconómicas. Esto favorece la claridad analítica, pero reduce la capacidad del modelo para capturar efectos de equilibrio general, cambios en actividad económica o respuestas sectoriales diferenciadas.

Adachi y Fabinger (2022) muestran que la incidencia, el traspaso a precios y el bienestar derivados de un impuesto dependen de la estructura de mercado y del grado de competencia. Esta observación introduce un matiz relevante: el modelo supone que el precio al carbono genera una respuesta agregada de emisiones, pero no especifica quién absorbe el impuesto ni en qué proporción se traslada a consumidores finales. En mercados energéticos regulados, concentrados o sujetos a subsidios, la incidencia económica puede diferir de la incidencia legal, alterando tanto la reducción de emisiones como el bienestar.

Fullerton y Kim (2008) analizan la interacción entre impuestos ambientales, impuestos distorsionantes, inversión pública en conocimiento de abatimiento y crecimiento. Su planteamiento permite interpretar que el reciclaje de ingresos puede tener efectos más amplios que los representados en una fórmula agregada de bienestar parcial. Si la recaudación se dirige a eficiencia energética, innovación, infraestructura limpia o reducción de otros impuestos, el efecto dinámico podría mejorar el resultado social. Si los ingresos no se vinculan con objetivos ambientales o distributivos, el beneficio asociado al reciclaje sería menor.

Kalkuhl *et al.* (2020) destacan que la política climática puede enfrentar problemas de inconsistencia temporal cuando existen activos fósiles, presiones políticas y expectativas de reversión regulatoria. Esta

aportación introduce una dimensión dinámica que no se modela en el presente estudio, pero que resulta relevante para una trayectoria creciente de precio al carbono. La reducción de emisiones simulada presupone que los agentes responden a una señal de precio creíble; si anticipan cambios discrecionales, subsidios compensatorios o debilitamiento futuro del impuesto, la respuesta de inversión y sustitución tecnológica podría ser menor.

Pahle *et al.* (2025) analizan las fricciones que surgen cuando los sistemas de comercio de emisiones avanzan hacia etapas de neutralidad climática. Aunque su objeto es el mercado europeo de derechos de emisión, su discusión coincide con una implicación central del presente estudio: a medida que la base contaminante se reduce, el instrumento pierde capacidad como fuente permanente de ingresos. Esta convergencia es relevante porque muestra que el límite recaudatorio no es exclusivo de los impuestos al carbono; también aparece en instrumentos de precio diseñados para inducir descarbonización.

Fendrich *et al.* (2022) muestran que un impuesto con fines ambientales puede tener bajo desempeño cuando la base gravable, la fiscalización y los objetivos ecológicos no están alineados. Esta evidencia resulta útil para el caso mexicano porque la efectividad de un impuesto al carbono no depende únicamente del nivel de precio. También requiere una definición clara de la base gravada, reglas de actualización, capacidad administrativa, coherencia normativa y mecanismos verificables para vincular el instrumento con resultados ambientales.

Chandel *et al.* (2011) muestran que las políticas de precio al carbono pueden producir efectos ambientales adicionales, como cambios en el uso de agua dentro de la generación eléctrica. Esta referencia sugiere que el beneficio ambiental estimado en el modelo es una medida acotada, ya que solo monetiza emisiones de CO₂ evitadas mediante un costo social del carbono. Una evaluación más amplia podría incorporar beneficios sobre calidad del aire, salud pública, agua, eficiencia energética o reducción de contaminantes locales, aunque ello requeriría una estructura metodológica distinta.

Conclusiones

El presente estudio analizó el impuesto al carbono en México mediante un enfoque teórico-matemático que vincula la tributación pigouviana con la Curva de Laffer ambiental. A partir de una

simulación determinística estática de forma reducida, se examinó la relación entre precio al carbono, emisiones, recaudación potencial y bienestar parcial, manteniendo una estructura metodológica parsimoniosa y consistente con el propósito de evaluar el instrumento desde una perspectiva fiscal y ambiental.

Los resultados permiten sostener que, bajo la calibración empleada y los supuestos del modelo, la función simulada se ubica en un tramo en el que el fortalecimiento gradual del precio puede aumentar la recaudación potencial y, simultáneamente, reducir las emisiones. Este hallazgo subraya la pertinencia de analizar el instrumento no solo como una fuente de ingresos públicos, sino como un mecanismo de corrección ambiental cuyo desempeño depende de la respuesta de la base contaminante.

La Curva de Laffer ambiental muestra que la relación entre precio y recaudación no es indefinidamente creciente. Conforme el precio al carbono aumenta, la reducción de emisiones termina limitando la base gravable del impuesto. Esta dinámica es central para la interpretación del instrumento, porque una menor recaudación futura podría reflejar un avance ambiental, siempre que derive de menores emisiones y no de evasión, sustitución hacia combustibles no cubiertos o fallas administrativas.

El análisis también muestra que el máximo recaudatorio no coincide necesariamente con el mayor valor del indicador de bienestar parcial. Esta diferencia sugiere que el diseño de un impuesto al carbono no debe guiarse únicamente por criterios fiscales. Desde una perspectiva pigouviana, el objetivo principal consiste en aproximar el precio de las emisiones a su costo social, evitando que la búsqueda de ingresos públicos desplace la finalidad correctiva del instrumento.

La incorporación del reciclaje de ingresos modifica de manera sustantiva la evaluación del impuesto dentro del modelo. Dado que el indicador añade una proporción de la recaudación reciclada, el bienestar parcial mejora conforme aumenta el coeficiente de reciclaje efectivo. Por ello, el destino de los recursos generados debe considerarse parte integral del diseño de la política, no un componente posterior o accesorio.

Para el caso mexicano, los resultados sugieren que el fortalecimiento del impuesto al carbono requeriría una arquitectura fiscal más amplia que el simple aumento del precio. Como implicaciones de política

derivadas del marco analítico y de la literatura revisada, su efectividad dependería de la cobertura de combustibles gravados, la actualización del precio, la transparencia en el uso de los ingresos, la capacidad institucional de implementación y la existencia de mecanismos que permitan compensar posibles efectos distributivos adversos.

El alcance del estudio debe interpretarse dentro de los límites de una simulación agregada de forma reducida. El modelo no incorpora elasticidades estimadas directamente para México, heterogeneidad sectorial, incidencia distributiva, informalidad, traspaso a precios ni efectos macroeconómicos de equilibrio general. Asimismo, depende de una forma funcional específica, de la calibración con un punto ancla, de un costo social del carbono constante, de una curva marginal de abatimiento lineal y de un tratamiento simplificado de la recaudación reciclada. Estas limitaciones no invalidan el ejercicio, pero delimitan su uso como una aproximación analítica y no como una proyección oficial, una estimación causal o una recomendación directa de precio.

Futuras investigaciones podrían ampliar este enfoque mediante datos observados de recaudación efectiva, emisiones, precios de combustibles y patrones de gasto de los hogares. También sería pertinente incorporar comparación de formas funcionales, análisis de sensibilidad e incertidumbre, estimación econométrica de elasticidades, validación con recaudación observada, evaluación distributiva con microdatos y análisis del valor social de la recaudación reciclada.

Referencias

- Abrell, J., Rausch, S., & Schwarz, G. A. (2018). How robust is the uniform emissions pricing rule to social equity concerns? *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 783–814. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.09.008>
- Adachi, T., & Fabinger, M. (2022). Pass-through, welfare, and incidence under imperfect competition. *Journal of Public Economics*, 211, Article 104589. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2021.104589>
- Aubert, D., & Chiroleu-Assouline, M. (2019). Environmental tax reform and income distribution with imperfect heterogeneous labour markets. *European Economic Review*, 116, 60–82. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2019.03.006>
- Bento, A. M., Jacobsen, M. R., & Liu, A. A. (2018). Environmental policy in the presence of an informal sector. *Journal of Environmental Economics and Management*, 90, 61–77. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.03.011>
- Black, S., Kirabaeva, K., Parry, I. W. H., Raissi, M., & Zhunussova, K. (2021). *A comprehensive climate mitigation strategy for Mexico* (IMF Working Paper No. 2021/246). International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9781513599847.001>
- Budolfson, M., Dennig, F., Errickson, F., Feindt, S., Ferranna, M., Fleurbaey, M., Klenert, D., Kornek, U., Kuruc, K., Méjean, A., Peng, W., Scovronick, N., Spears, D., Wagner, F., & Zuber, S. (2021). Climate action with revenue recycling has benefits for poverty, inequality and well-being. *Nature Climate Change*, 11, 1111–1116. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01217-0>
- Caldara, D., Cavallo, M., & Iacoviello, M. (2019). Oil price elasticities and oil price fluctuations. *Journal of Monetary Economics*, 103, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2018.08.004>
- Cámara de Diputados. (2013a, 11 de diciembre). *Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley del Impuesto al Valor Agregado; de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios; de la Ley Federal de Derechos, se expide la Ley del Impuesto sobre la Renta, y se abrogan la Ley del Impuesto Empresarial a Tasa Única, y la Ley del Impuesto a los Depósitos en Efectivo*. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lieps/LIEPS_ref41_11dic13.pdf
- Cámara de Diputados. (2013b, 8 de septiembre). *Gaceta Parlamentaria, año XVI, número 3857-C: Iniciativa de decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones fiscales*. <https://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/62/2013/sep/20130908-C.pdf>

- Chandel, M. K., Pratson, L. F., & Jackson, R. B. (2011). The potential impacts of climate-change policy on freshwater use in thermoelectric power generation. *Energy Policy*, 39(10), 6234–6242. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.022>
- Cornevin, A., Corrales, J. S., & Mojica, J. P. A. (2024). Do tax revenues track economic growth? Comparing panel data estimators. *Economic Modelling*, 140, Article 106867. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106867>
- Cullenward, D., Wilkerson, J. T., Wara, M., & Weyant, J. P. (2016). Dynamically estimating the distributional impacts of U.S. climate policy with NEMS: A case study of the Climate Protection Act of 2013. *Energy Economics*, 55, 303–318. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.021>
- Fendrich, A. N., Barretto, A., Sparovek, G., Gianetti, G. W., Ferreira, J. da L., Souza Filho, C. F. M. de, Appy, B., Guedes, C. M. G. de, & Leitão, S. (2022). Taxation aiming environmental protection: The case of Brazilian Rural Land Tax. *Land Use Policy*, 119, Article 106164. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106164>
- Fullerton, D., & Kim, S. R. (2008). Environmental investment and policy with distortionary taxes, and endogenous growth. *Journal of Environmental Economics and Management*, 56(2), 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.02.001>
- Kalkuhl, M., Steckel, J. C., & Edenhofer, O. (2020). All or nothing: Climate policy when assets can become stranded. *Journal of Environmental Economics and Management*, 100, Article 102214. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.01.012>
- Laffer, A. B. (2004, June 1). *The Laffer curve: Past, present, and future* (Backgrounder No. 1765). The Heritage Foundation. <https://www.heritage.org/taxes/report/the-laffer-curve-past-present-and-future>
- Metcalf, G. E. (2009). Designing a carbon tax to reduce U.S. greenhouse gas emissions. *Review of Environmental Economics and Policy*, 3(1), 63–83. <https://doi.org/10.1093/reep/ren015>
- Pahle, M., Quemin, S., Osorio, S., Günther, C., & Pietzcker, R. C. (2025). The emerging endgame: The EU ETS on the road towards climate neutrality. *Resource and Energy Economics*, 81, Article 101476. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2024.101476>
- Sanz-Sanz, J. F. (2022). A full-fledged analytical model for the Laffer curve in personal income taxation. *Economic Analysis and Policy*, 73, 795–811. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.01.008>
- Varga, J., Roeger, W., & in 't Veld, J. (2022). E-QUEST: A multisector dynamic general equilibrium model with energy and a model-based assessment to reach the EU climate targets. *Economic Modelling*, 114, Article 105911. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2022.105911>