

Desacoplamiento en México (1895-2023): crecimiento económico y emisiones de dióxido de carbono

Decoupling in Mexico (1895-2023): economic growth and carbon dioxide emissions

Rodrigo R. Gómez Garza* y Claudio Othón Cruz Martínez**

| *Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Universidad Autónoma Metropolitana |
| Correo electrónico: rodrigo.gomez@secihti.mx | ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7454-0352> |

| **Secretaría del Trabajo y Previsión Social | Correo electrónico: claudio.cruz@stps.gob.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1743-2547> |

RESUMEN

El estudio analiza si el crecimiento económico de México se ha desacoplado de las emisiones de CO₂ entre 1895 y 2023. Con base en los enfoques teóricos del desacoplamiento y del crecimiento verde, se emplean los métodos de Tapio, la Identidad de Kaya, la descomposición LMDI y técnicas econométricas de cointegración y modelos VECM. Los resultados muestran que, en el mediano plazo, PIB y emisiones crecieron de forma similar (acoplamiento expansivo), mientras que, en el largo plazo, las emisiones crecieron más significativamente que la economía (desacoplamiento negativo expansivo). Aunque mejoró la eficiencia energética y disminuyó la intensidad de emisiones, las emisiones totales continuaron aumentando debido a la expansión económica y demográfica. Se concluye que México no ha logrado desacoplar estructuralmente el crecimiento económico de las emisiones, lo que implica retos significativos para la política climática y energética del país.

ABSTRACT

This study analyzes whether Mexico's economic growth has decoupled from CO₂ emissions between 1895 and 2023. Based on theoretical approaches to decoupling and green growth, it employs Tapio's method, Kaya's identity, LMDI decomposition, and econometric techniques such as cointegration and VECM models. The results show that, in the medium term, GDP and emissions grew similarly (expansive coupling), while in the long term, emissions grew more significantly than the economy (expansive negative decoupling). Although energy efficiency improved and emissions intensity decreased, total emissions continued to rise due to economic and demographic expansion. The study concludes that Mexico has not structurally decoupled economic growth from emissions, which poses significant challenges for the country's climate and energy policy.

Recibido: 07/agosto/2025
Aceptado: 18/febrero/2026
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Tapio | LMDI |
| Identidad de Kaya |
| Cointegración | VECM |

Keywords:

| Tapio | LMDI |
| Kaya Identity |
| Cointegration | VECM |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

O44, O54, Q50



Esta obra está protegida
bajo una Licencia
Creative Commons
Reconocimiento-
NoComercial-
SinObraDerivada 4.0
Internacional

INTRODUCCIÓN

Objetivos e hipótesis

El objetivo de este artículo es demostrar que México ha operado estructuralmente durante más de un siglo sin desacoplar el crecimiento económico de la emisión de contaminantes, y no sólo eso, sino que, incluso en contextos de mejoras en eficiencia energética, la generación de emisiones sigue creciendo. Asimismo, nos interesa resaltar el crecimiento

exponencial de la economía mexicana desde los inicios de la industrialización hacia finales del siglo XIX, con la finalidad de dar cuenta de la importancia de la temporalidad y la escala cuando se discute el desacoplamiento, ya que puede que, en el corto plazo, parezca que se está dando un desacoplamiento importante; pero en términos de mediano y largo plazo, es claro que el crecimiento de procesos contaminantes es constante. Para nuestro caso de estudio podemos mencionar que la economía mexicana es alrededor de cien veces más grande en 2022 que en 1890 (como veremos más adelante), por lo que un crecimiento de un mero 1% en nuestros días equivale a que la economía mexicana crezca el equivalente al tamaño total de la economía mexicana a fines del siglo XIX, casi inicios del XX. Así, cuando los economistas se lamentan por un lento crecimiento de la economía, es necesario poner el crecimiento en perspectiva histórica y ver que incluso con un crecimiento “lento” o con un crecimiento “cero” estamos hablando de cantidades gigantescas de contaminantes emitidas anualmente. Para los propósitos de este artículo, analizaremos únicamente emisiones de CO₂, el principal Gas de Efecto Invernadero (GEI), dejando fuera a otros gases también muy relevantes (como el metano).

De esta manera, nuestras hipótesis principales son las siguientes:

- **Hipótesis 1:** en términos de larga duración, México ha operado sin desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones de dióxido de carbono.
- **Hipótesis 2:** Incluso en contextos de mejoras en eficiencia energética, la generación de emisiones ha continuado creciendo.

Estructura del artículo

El trabajo se articula de la siguiente manera: 1) marco teórico y revisión de la literatura; 2) marco metodológico; 3) resultados; 4) discusión; conclusiones; referencias bibliográficas.

I. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el discurso de la sustentabilidad suele aludirse a la idea del ‘crecimiento verde’ como la solución a los problemas causados por el cambio climático; en términos generales, la idea es que la economía crezca sin incrementar el uso de recursos y sin incrementar la emisión de sustancias contaminantes; a esta idea se le ha dado el nombre de ‘desacoplamiento’ (Zhang, 2000). Sin embargo, los economistas suelen presentar los datos en términos relativos o de porcentajes, hablando de desacoplamiento cuando la tasa de crecimiento de la economía (el Producto Interno Bruto) crece más que la tasa de crecimiento de emisiones de contaminantes. No obstante, en términos absolutos o totales en unidades físicas (por ejemplo, toneladas de CO₂), las emisiones continúan creciendo, por lo que lo ideal es un desacoplamiento absoluto, donde la economía crece y la contaminación decrece o se mantiene. Si bien las tasas de crecimiento y los niveles absolutos constituyen medidas conceptualmente distintas, son complementarias, y presentar los datos sólo en términos relativos puede dar una idea equivocada sobre el progreso en la lucha contra el cambio climático, ya que, como mencionamos, la noción de desacoplamiento suele evaluarse en la práctica exclusivamente en términos relativos, lo cual permite decir que cayeron las emisiones (en términos porcentuales comparando con un año o un periodo previo) cuando en términos totales aumentaron (simplemente a un ritmo menor que el año o periodo previo). De aquí la importancia de presentar los dos conceptos: desacoplamiento absoluto y desacoplamiento relativo, como suele ser el caso en la literatura especializada más reciente (Hickel y Kallis, 2020). En este sentido, en la economía-mundo, en el mejor de los casos el desacoplamiento es relativo, no absoluto. Tal es el caso de China, uno de los países más enfocados en crear legislación ambiental, donde

se presumen mejoras en ‘ecoeficiencia’ a la par que la utilización total de recursos sigue en aumento; es decir, las mejoras en eficiencia han servido como un incentivo para incrementar la escala de la producción (Bleischwitz *et al.*, 2022). Además, para un gran número de economías el desacoplamiento es negativo; es decir, las emisiones crecen a un ritmo más acelerado que la economía (Jardón *et al.*, 2017). En general, lo que la literatura actual corrobora es que “la evidencia empírica sobre utilización de recursos y emisiones de carbono no apoya la teoría del crecimiento verde” (Hickel y Kallis, 2020: 469).

De acuerdo con un metaanálisis de literatura sobre mediciones de desacoplamiento realizado por Rüstemoğlu (2023), de 17 artículos sobre el tema a nivel país, 7 utilizaron un solo método de medición (5 de ellos el método LMDI) y los diez restantes utilizaron dos métodos (siendo la combinación más popular el método LMDI junto al método de Tapio). De estos artículos, dos tratan sobre México, el primero es sobre la industria manufacturera del país en el periodo 1990-2008 (Sheinbaum-Pardo *et al.*, 2012) y el segundo aborda el sector industrial mexicano en el periodo 1965-2003 (González y Martínez, 2012). Rüstemoğlu también incluye a México entre sus países de análisis, junto a Indonesia, Turquía y los países BRICS, en el periodo 1992-2020. Asimismo, ubicamos un texto más publicado en 2023 relativo al caso mexicano, que con el método LMDI analiza la evolución de las emisiones eléctricas en el periodo 2001-2019 (García Ochoa, 2023). En cuanto a estudios para otros países latinoamericanos sólo se ubicó uno para Brasil de manera individual (de Freitas y Kaneko, 2011) y dos que incluyen a Brasil como parte de los BRICS (Dai *et al.*, 2016; Inglesi-Lotz, 2018). Todos los artículos referentes a México coinciden en resultados (dentro de sus respectivos periodos y sectores de análisis) con lo que aquí presentaremos.

Ninguno de los artículos consultados por Rüstemoğlu utiliza tantos métodos para medir el desacoplamiento como los que aquí presentamos, y los casos a nivel país presentados en su metaanálisis no miden el desacoplamiento entre crecimiento económico y emisiones de dióxido de carbono en un periodo de tiempo tan amplio (no van más atrás de 1990 y sólo dos, incluyendo al de Rüstemoğlu, llegan hasta la década de 1960). En este sentido, creemos que parte de las fortalezas y contribuciones de este artículo están en tres puntos: 1) en la cobertura amplia de tiempo (1895-2023); 2) en medir la evolución del desacoplamiento de la economía a nivel nacional dentro de ese marco amplio de tiempo; 3) la utilización y explicación pormenorizada de múltiples métodos para medir el desacoplamiento (como veremos en la metodología).

II. MARCO METODOLÓGICO

Este artículo usa a México como caso de estudio para analizar distintos tipos de desacoplamiento en el mediano y largo plazo, serie 1960-2023 y serie 1895-2022. Para la serie 1960-2023 se utilizaron datos del Banco Mundial de Producto Interno Bruto y Población (2025a; 2025b) y para la serie 1895-2022 se utilizaron estimaciones de Producto Interno Bruto y población de la base de datos del Maddison Project (Bolt y Van Zanden, 2024a; 2024b); para ambas series las estimaciones de las emisiones de CO₂ para México se retoman de la base de datos del Global Carbon Budget (2024). Debido a la disponibilidad de datos y a las características de las series de tiempo se aplicaron diferentes métodos de análisis de desacoplamiento. Ambas series comparten el método de Tapio, pero debido a que los datos de consumo energético sólo están disponibles a partir de 1965, se utilizó la Identidad de Kaya y el método LMDI únicamente de 1965 a 2023. Para la serie 1895-2022 se realizaron gráficas de dispersión y se encontró que sólo hay un vínculo entre PIB y emisiones de CO₂ a partir de 1943, por lo que procedimos a hacer un análisis de correlación, de cointegración de Johansen y un Modelo de Corrección de Errores (VECM) sólo al periodo 1943-2022.

a) Series 1960-2023 (PIB a precios constantes de 2015 en \$US) y 1895-2022 (PIB a precios constantes de 2011 en \$US)

Método de Tapio

Uno de los métodos más utilizados para medir el desacoplamiento es el creado por Tapio (2005), con algunos de los más recientes estudios al respecto utilizando este método (Huo *et al.*, 2021; Raza y Lin, 2022; Kouyakh, 2022; Ozdemir, 2023; Rüstemoğlu, 2023).

Fórmula de Tapio:

$$Dt = \frac{\frac{\Delta CO_2}{CO_2^0}}{\frac{\Delta PIB}{PIB^0}}$$

Interpretación del indicador de Tapio:

Tabla 1
Tipos de desacoplamiento de acuerdo con el método de Tapio

<i>Cambios en PIB real</i>	<i>Cambios en emisiones</i>	<i>Valor de desacoplamiento</i>	<i>Tipo de desacoplamiento</i>
$\Delta PIB > 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$Dt > 1.2$	Desacoplamiento negativo expansivo
$\Delta PIB < 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$Dt > 1.2$	Desacoplamiento recesivo
$\Delta PIB > 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$0.8 \leq Dt < 1.2$	Acoplamiento expansivo
$\Delta PIB < 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$0.8 \leq Dt < 1.2$	Acoplamiento recesivo
$\Delta PIB > 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$0 \leq Dt < 0.8$	Desacoplamiento débil*
$\Delta PIB < 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$0 \leq Dt < 0.8$	Desacoplamiento negativo débil
$\Delta PIB > 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$Dt < 0$	Desacoplamiento fuerte*
$\Delta PIB < 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$Dt < 0$	Desacoplamiento negativo fuerte

*El desacoplamiento débil y el desacoplamiento fuerte son los tipos de desacoplamiento deseados.

Fuente: elaboración propia a partir de Tapio (2005) y Rüstemoğlu (2023).

Así, el método de Tapio evalúa el desacoplamiento en términos relativos, a partir de tasas de crecimiento, por lo que no garantiza reducciones absolutas en las emisiones.

b) Serie 1965-2023 (PIB a precios constantes de 2015 en \$US)

Identidad de Kaya

Podemos comenzar recordando la ‘identidad de Kaya’, la cual determina que las emisiones de CO₂ pueden expresarse como el producto de cuatro factores: tamaño de la población, PIB *per cápita*, intensidad energética e intensidad de las emisiones (Kaya y Yokobori, 1997).

$$CO_2 = (población) \left(\frac{PIB}{población} \right) \left(\frac{consumo\ energético}{PIB} \right) \left(\frac{CO_2}{consumo\ energético} \right)$$

PIB per cápita:

$$PIB_{pc} = \left(\frac{PIB}{población} \right)$$

Intensidad energética:

Se refiere a la cantidad de energía consumida por unidad de producción económica; por ejemplo, la cantidad de kWh consumidos por cada dólar de valor del PIB.

$$IE = \left(\frac{\text{consumo energético}}{PIB} \right)$$

Intensidad de las emisiones:

Es decir, la cantidad de toneladas de dióxido de carbono producidas por cada unidad de energía consumida, para el caso de este estudio específicamente la cantidad de toneladas de CO₂ producidas por cada TWh consumido.

$$ICO_2 = \left(\frac{CO_2}{\text{consumo energético}} \right)$$

Una vez obtenidas todas las variables, pasaremos a obtener al crecimiento porcentual de cada variable durante el periodo de estudio para analizar el comportamiento de cada variable en términos de su relación con el crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono. Por ejemplo, adelantándonos un poco a los resultados puede observarse que el indicador de la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (ICO₂) ha disminuido en el periodo que va de 1965 a 2023; sin embargo, la cantidad de dióxido de carbono producido en términos totales sigue incrementándose. Lo cual quiere decir que a pesar de una marcada mejoría en la utilización de la energía primaria (menos toneladas de CO₂ generadas por cada unidad de energía consumida) las emisiones totales no han disminuido, sino que se han incrementado conforme se incrementa la escala de la economía. Por lo que se concluiría que la mejora en intensidad de emisiones no ha logrado desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones.

Método LMDI

Varios estudios sobre desacoplamiento además suelen añadir algún método de Análisis de Descomposición de Índices (IDA, *Index Decomposition Analysis*), siendo el más popular el método LMDI (logarithmic mean Divisia index), el cual también ha sido descrito como el método ‘preferible’ (Ang, 2004), el cual permite conocer el impacto de ciertos factores demográficos o económicos en el incremento de las emisiones de CO₂, por ejemplo el efecto que tiene el incremento de la población (Kurniawan *et al.*, 2018) o el efecto que tiene la generación de energía eléctrica (Zhang *et al.*, 2013). Este acercamiento es especialmente útil para la creación de políticas públicas y en los estudios más recientes es el método IDA que sirve como acompañamiento del modelo de desacoplamiento de Tapio (Dai *et al.*, 2016; Huo *et al.*, 2021; Raza y Lin, 2022; Kouyakh, 2022; Ozdemir, 2023; Rüstemoğlu, 2023). Para el estudio específico de este artículo utilizaremos también el método LMDI, aplicado a las variables clásicas de la identidad de Kaya.

Fórmula LMDI (Ang, 2005):

$$\Delta V_x = \sum \left(\frac{V^t - V^0}{\ln \left(\frac{V^t}{V^0} \right)} \right) \ln \left(\frac{x^t}{x^0} \right)$$

Fórmula LMDI aplicada al efecto poblacional:

$$\Delta \text{Dióxido de carbono}_{pob} = \sum \left(\frac{CO_2^t - CO_2^0}{\ln \left(\frac{CO_2^t}{CO_2^0} \right)} \right) \ln \left(\frac{pob^t}{pob^0} \right)$$

Fórmula LMDI aplicada al efecto de la intensidad energética:

$$\Delta \text{Dióxido de carbono}_{IE} = \sum \left(\frac{CO_2^t - CO_2^0}{\ln \left(\frac{CO_2^t}{CO_2^0} \right)} \right) \ln \left(\frac{IE^t}{IE^0} \right)$$

Fórmula LMDI aplicada al efecto de la intensidad de las emisiones:

$$\Delta \text{Dióxido de carbono}_{ICO_2} = \sum \left(\frac{CO_2^t - CO_2^0}{\ln \left(\frac{CO_2^t}{CO_2^0} \right)} \right) \ln \left(\frac{ICO_2^t}{ICO_2^0} \right)$$

Fórmula LMDI aplicada al efecto del PIB per cápita:

$$\Delta \text{Dióxido de carbono}_{PIB_{pc}} = \sum \left(\frac{CO_2^t - CO_2^0}{\ln \left(\frac{CO_2^t}{CO_2^0} \right)} \right) \ln \left(\frac{PIB_{pc}^t}{PIB_{pc}^0} \right)$$

c) Serie 1895-2022 (PIB a precios constantes de 2011 en \$US)

Visualización inicial

Después de haber realizado el Método de Tapio y con la intención de comprender mejor la relación entre el crecimiento del PIB y las emisiones de CO₂ en México, se realizó una gráfica de tendencias para observar la evolución temporal de ambas variables. Posteriormente, la gráfica de dispersión facilita el análisis sobre el grado de inclinación.

La inclinación de la tendencia se obtiene mediante la ecuación de una regresión simple:

$$CO_2 = \beta_0 + \beta_1 PIB + \epsilon$$

Donde el coeficiente del PIB es la pendiente de la relación estudiada (PIB y emisiones).

Este ejercicio tiene un carácter estrictamente exploratorio y su objetivo es ilustrar las tendencias entre las variables de estudio más que establecer relaciones causales o pronósticos a largo plazo.

Pruebas de ruptura estructural

Las pruebas de ruptura estructural permiten identificar de manera parsimoniosa los periodos en los que la relación entre crecimiento económico y emisiones se reconfigura, ofreciendo un marco analítico coherente para cuantificar la evolución temporal del desacoplamiento, sin establecer relaciones causales directas.

Debido a que no se apreciaba una tendencia uniforme, se decidió hacer pruebas para corroborar la ruptura estructural. Se realizaron las pruebas de Bai-Perron y Chow.

La prueba de Bai-Perron busca identificar rupturas múltiples. El análisis se realiza sobre la serie de divergencia anual, definida como el valor absoluto de la diferencia entre las tasas de crecimiento del PIB y emisiones de CO_2 . Formalmente, se estima de la siguiente manera:

$$gap_t = \mu_j + \varepsilon_t \quad \text{para } t = T_{j-1} + 1, \dots, T_j, j = 1, \dots, m + 1$$

Donde $gap_t = |\Delta PIB_t - \Delta CO_2_t|$, que definido como valor absoluto captura cambios en la magnitud del desacoplamiento, más no en su dirección. Por su parte, μ_j es la media del régimen j , T_j denota los puntos de ruptura desconocidos y ε_t es un término de error con media cero. La selección del número óptimo de rupturas se realiza mediante el Criterio de Información Bayesiano (BIC), asimismo, la prueba permite ubicar el periodo en el que se inicia un cambio estadísticamente significativo en el nivel promedio de la divergencia.

Por su parte, la prueba Chow se define como:

$$gap_t = \mu + \varepsilon_t$$

Y evalúa si la media gap_t es estadísticamente igual antes y después de un punto de corte elegido de manera exógena. El estadístico de prueba se basa en una comparación de la suma de residuos cuadrados del modelo estimado para la muestra completa con aquellas obtenidas al estimar el modelo por separado para cada subperiodo. Un valor elevado del estadístico F conduce al rechazo de la hipótesis nula, indicando la presencia de una ruptura estructural en la divergencia promedio entre el crecimiento de las variables de interés.

De este modo, estas pruebas permiten identificar cambios en la intensidad del acoplamiento entre crecimiento económico y emisiones, pero no implican por sí mismas la existencia de una transición de desacoplamiento a acoplamiento.

d) Serie 1943-2022 (PIB a precios constantes de 2011 en \$US)

Después de las pruebas previas, se observó que había dos periodos con características distintas, de 1895 a 1942 no se apreciaba una similitud entre las tendencias de los crecimientos del PIB y de emisiones de CO_2 , mientras que para el periodo de 1943-2022 sí se sigue una tendencia similar. Por esta razón, el resto de la metodología sólo se aplicó al segundo periodo.

Pruebas de correlación

La correlación de Pearson mide la relación lineal entre ambas variables, bajo el supuesto que comparten una dinámica comparable, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Donde X es la tasa de crecimiento del PIB y Y es la de emisiones de dióxido de carbono.

Por su parte, la correlación de Spearman (1904) evalúa la relación monótona entre las variables, mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

En donde d es la diferencia entre los rangos de cada observación.

Desde un punto de vista analítico, un coeficiente elevado sugiere una mayor sincronización entre la actividad económica y las emisiones, mientras que los valores reducidos indicarían una falta de relación entre ambas. Es importante resaltar que ninguna de estas pruebas permite inferir causalidad y que solo anteceden a la prueba de cointegración de Johansen y al modelo de corrección de errores (VECM) donde se analiza formalmente la relación de largo plazo entre las variables.

Prueba de cointegración de Johansen

La prueba de cointegración de Johansen permite evaluar la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre dos variables, interpretada como una vinculación estructural, aunque es sensible a la especificación del modelo.

Si se cuenta con dos series que son integradas del mismo orden (típicamente I(1)) se puede realizar una prueba de cointegración de Johansen (1991), que se basa en la siguiente observación de un vector autorregresivo (VAR) representado por la siguiente expresión:

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t$$

En donde Y_t es el vector de las series, Π es la matriz de cointegración y Γ_i son los coeficientes de los rezagos.

En este contexto, la cointegración se interpreta como evidencia de una relación de largo plazo entre crecimiento económico y emisiones, consistente con la ausencia de un desacoplamiento estructural.

Modelo de Corrección de Errores (VECM)

Al encontrar evidencia de la relación de cointegración ($r = 1$), se opta por estimar un modelo de corrección de errores (Engle y Granger, 1987). La representación del VECM es la siguiente:

$$\Delta Y_t = \alpha (Y_{t-1} - \beta X_{t-1}) + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \epsilon_i$$

Donde α es el coeficiente de ajuste que indica la velocidad con la que el sistema regresa al equilibrio tras un choque exógeno.

Este modelo de errores permite capturar simultáneamente la dinámica de corto plazo y el mecanismo de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo identificado por la relación de cointegración. Este enfoque facilita una interpretación coherente entre fluctuaciones de corto plazo y vínculos estructurales de largo plazo entre las variables analizadas. Desde una perspectiva del desacoplamiento, un mecanismo de ajuste significativo sugiere la persistencia de un vínculo estructural entre crecimiento económico y emisiones.

No obstante, el VECM no permite identificar relaciones causales estructurales ni aislar mecanismos tecnológicos o institucionales específicos.

Todo el procesamiento de datos, así como la estimación de modelos y la realización de pruebas estadísticas se llevaron a cabo mediante el programa R. La presentación de gráficas se realizó con *Excel*.

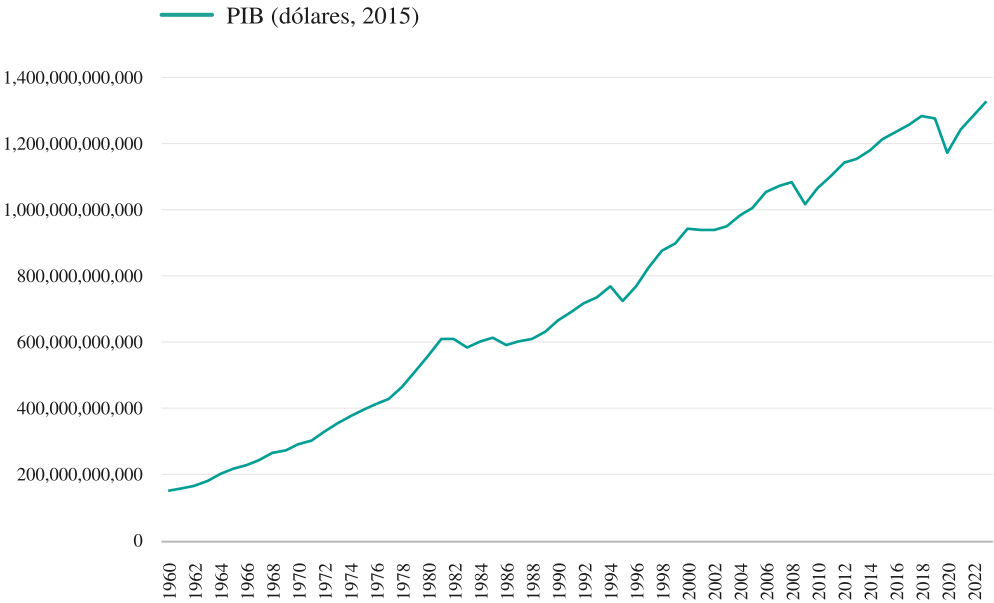
III. RESULTADOS

a) *Serie 1960-2023 (PIB a precios constantes de 2015 en \$US)*

Resultados con el Método de Tapio

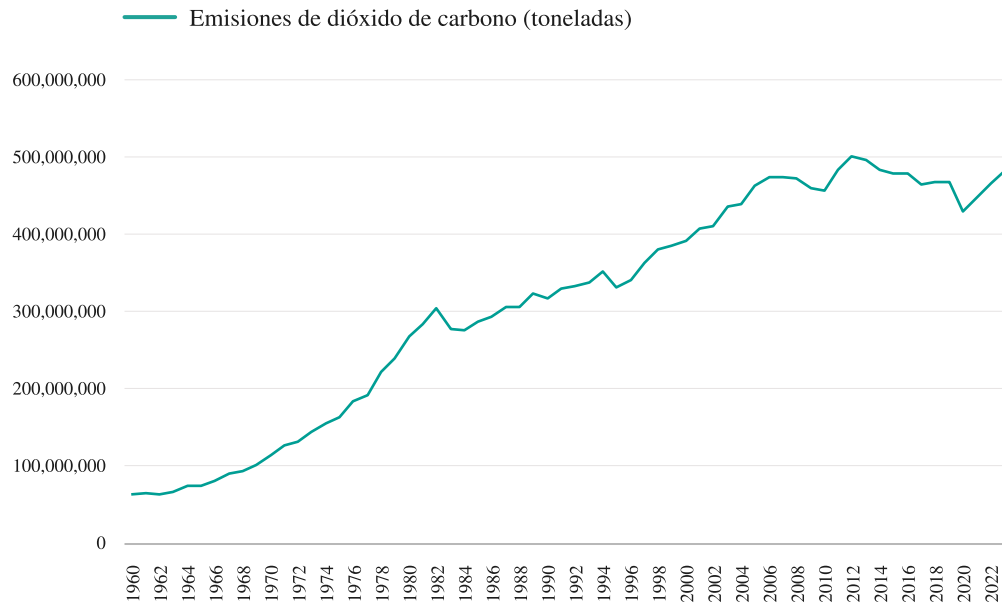
Para el periodo de 1960 a 2023, el resultado con el método de Tapio (ver Tabla 1) indica que no hubo desacoplamiento, sino un ‘acoplamiento expansivo’ (Tabla 2); es decir, tanto el Producto Interno Bruto (Gráfica 1) como las emisiones de dióxido de carbono (Gráfica 2) incrementaron, pero lo hicieron a un ritmo similar (Gráfica 3). El PIB creció a una tasa promedio anual de 3.57% y las emisiones de CO₂ a crecieron una tasa promedio anual de 3.40%. Si bien la tasa de crecimiento del PIB fue ligeramente superior, de acuerdo con el método de Tapio no podemos decir que el comportamiento de ambas variables haya sido significativamente distinto. De los 63 periodos de estudio, en 15 hubo un desacoplamiento débil, en 12 un desacoplamiento fuerte, en 11 un acoplamiento expansivo, en 16 un desacoplamiento negativo expansivo, en 4 un desacoplamiento negativo fuerte, en 1 periodo un desacoplamiento recesivo, en 3 un desacoplamiento negativo débil y en 1 un acoplamiento recesivo (Tabla 2). El PIB en 2023 fue 872.75% más grande que en 1960 y las emisiones de CO₂ en 2023 fueron 765.43% más grandes que en 1960.

Gráfica 1
Producto Interno Bruto (PIB) de México, US\$ a precios constantes de 2015



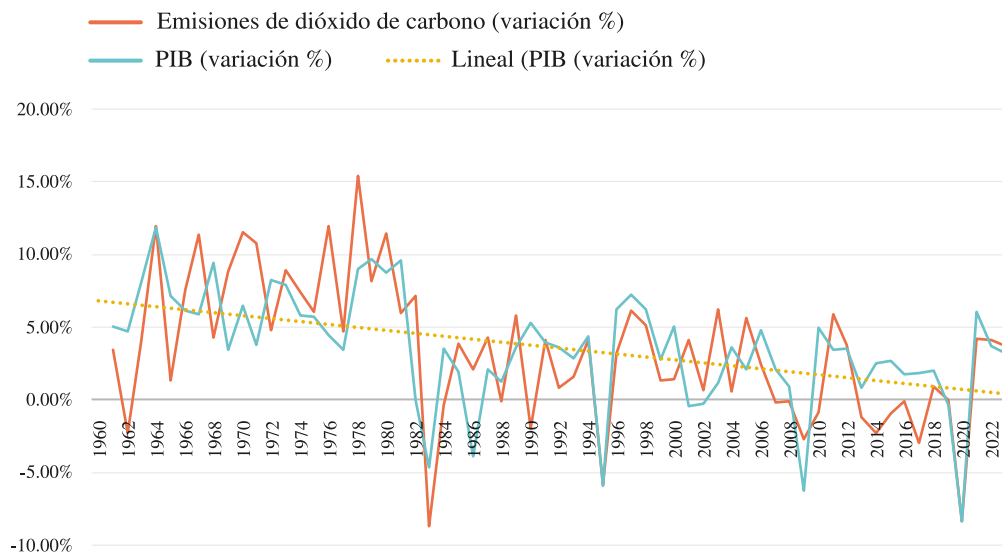
Fuente: elaboración propia con datos de Banco Mundial (2025a).

Gráfica 2
Emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂) en México, toneladas (1960-2023)



Fuente: elaboración propia con datos de Global Carbon Budget (2024).

Gráfica 3
Variación porcentual anual de emisiones de dióxido de carbono y PIB de México (1960-2023), con tendencia lineal



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Desacoplamiento en México (1960-2023) con el método de Tapio, PIB contra emisiones de CO₂

<i>Periodo</i>	<i>PIB (variación %)</i>	<i>Emisiones CO₂ (variación %)</i>	<i>Valor de Tapio</i>	<i>Tipo de desacoplamiento</i>
1960-1961	5.00%	3.47%	0.69	Débil
1961-1962	4.66%	-2.29%	-0.49	Fuerte
1962-1963	8.11%	4.00%	0.49	Débil
1963-1964	11.91%	11.93%	1.00	Acoplamiento expansivo
1964-1965	7.10%	1.30%	0.18	Débil
1965-1966	6.10%	7.55%	1.24	Negativo expansivo
1966-1967	5.85%	11.33%	1.94	Negativo expansivo
1967-1968	9.42%	4.31%	0.46	Débil
1968-1969	3.42%	8.83%	2.58	Negativo expansivo
1969-1970	6.50%	11.52%	1.77	Negativo expansivo
1970-1971	3.76%	10.73%	2.85	Negativo expansivo
1971-1972	8.23%	4.82%	0.59	Débil
1972-1973	7.86%	8.91%	1.13	Acoplamiento expansivo
1973-1974	5.78%	7.40%	1.28	Negativo expansivo
1974-1975	5.74%	6.08%	1.06	Acoplamiento expansivo
1975-1976	4.42%	11.94%	2.70	Negativo expansivo
1976-1977	3.39%	4.71%	1.39	Negativo expansivo
1977-1978	8.96%	15.45%	1.72	Negativo expansivo
1978-1979	9.70%	8.16%	0.84	Acoplamiento expansivo
1979-1980	8.76%	11.44%	1.31	Negativo expansivo
1980-1981	9.59%	5.96%	0.62	Débil
1981-1982	-0.05%	7.11%	-143.49	Negativo fuerte
1982-1983	-4.62%	-8.67%	1.87	Recesivo
1983-1984	3.51%	-0.34%	-0.10	Fuerte
1984-1985	1.92%	3.87%	2.01	Negativo expansivo
1985-1986	-3.93%	2.10%	-0.54	Negativo fuerte
1986-1987	2.06%	4.29%	2.08	Negativo expansivo
1987-1988	1.22%	-0.12%	-0.10	Fuerte
1988-1989	3.63%	5.83%	1.61	Negativo expansivo
1989-1990	5.25%	-2.00%	-0.38	Fuerte
1990-1991	3.98%	4.13%	1.04	Acoplamiento expansivo
1991-1992	3.57%	0.80%	0.22	Débil
1992-1993	2.87%	1.58%	0.55	Débil

<i>Periodo</i>	<i>PIB (variación %)</i>	<i>Emisiones CO₂ (variación %)</i>	<i>Valor de Tapio</i>	<i>Tipo de desacoplamiento</i>
1993-1994	4.39%	4.09%	0.93	Acoplamiento expansivo
1994-1995	-5.91%	-5.87%	0.99	Acoplamiento Recesivo
1995-1996	6.22%	3.22%	0.52	Débil
1996-1997	7.20%	6.12%	0.85	Acoplamiento expansivo
1997-1998	6.19%	5.14%	0.83	Acoplamiento expansivo
1998-1999	2.76%	1.30%	0.47	Débil
1999-2000	5.03%	1.40%	0.28	Débil
2000-2001	-0.45%	4.10%	-9.09	Negativo fuerte
2001-2002	-0.24%	0.69%	-2.92	Negativo fuerte
2002-2003	1.19%	6.26%	5.28	Negativo expansivo
2003-2004	3.57%	0.60%	0.17	Débil
2004-2005	2.11%	5.66%	2.68	Negativo expansivo
2005-2006	4.81%	2.39%	0.50	Débil
2006-2007	2.08%	-0.19%	-0.09	Fuerte
2007-2008	0.94%	-0.13%	-0.14	Fuerte
2008-2009	-6.30%	-2.68%	0.43	Negativo débil
2009-2010	4.97%	-0.84%	-0.17	Fuerte
2010-2011	3.44%	5.89%	1.71	Negativo expansivo
2011-2012	3.55%	3.76%	1.06	Acoplamiento expansivo
2012-2013	0.85%	-1.21%	-1.42	Fuerte
2013-2014	2.50%	-2.30%	-0.92	Fuerte
2014-2015	2.70%	-0.95%	-0.35	Fuerte
2015-2016	1.77%	-0.13%	-0.07	Fuerte
2016-2017	1.87%	-3.01%	-1.61	Fuerte
2017-2018	1.97%	0.86%	0.44	Débil
2018-2019	-0.39%	-0.04%	0.10	Negativo débil
2019-2020	-8.35%	-8.39%	1.00	Negativo débil
2020-2021	6.05%	4.17%	0.69	Débil
2021-2022	3.69%	4.14%	1.12	Acoplamiento expansivo
2022-2023	3.20%	3.72%	1.16	Acoplamiento expansivo
Tasa promedio 1960-2023	3.57%	3.40%	0.95	Acoplamiento expansivo

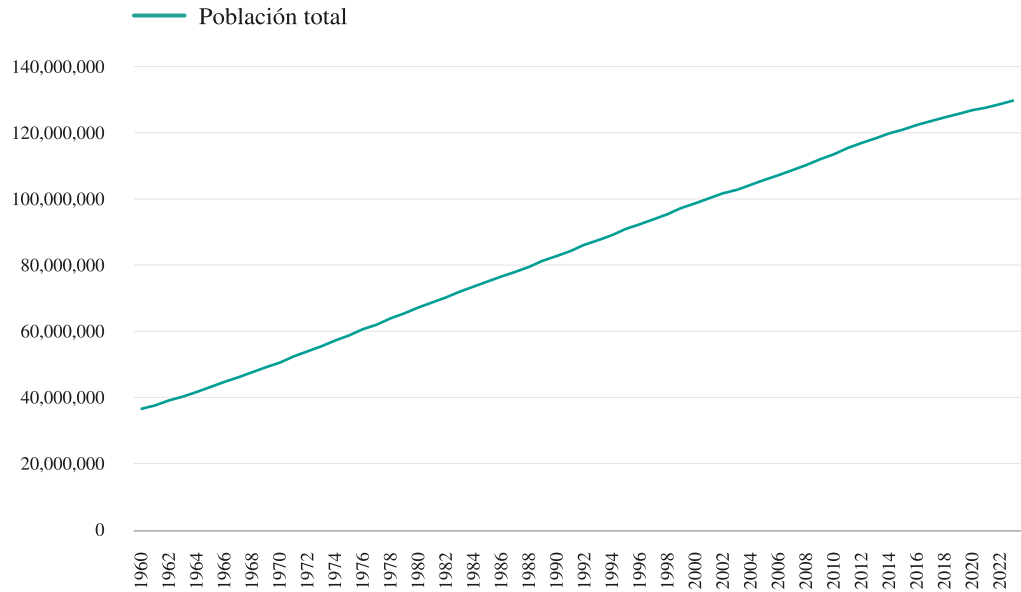
Fuente: elaboración propia.

b) Serie 1965-2023 (PIB a precios constantes de 2015 en \$US)

Resultados de la Identidad de Kaya

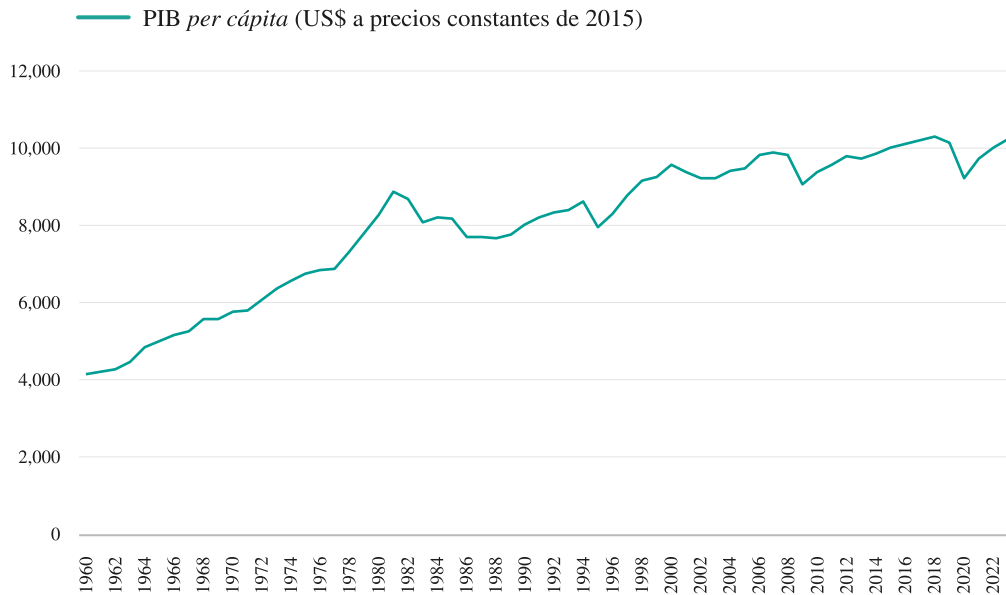
Para poder graficar la Identidad de Kaya, además de los datos de emisiones totales de dióxido de carbono (Gráfica 1) y de Producto Interno Bruto (Gráfica 2), fue necesario obtener los datos de población total de México (Gráfica 4), de Producto Interno Bruto *per cápita* (Gráfica 5) y de consumo de energía primaria (Gráfica 6). Sin embargo, ya que sólo fue posible acceder a los datos de consumo de energía con la serie comenzando en 1965, el análisis se realizará con el periodo 1965-2023. Puede observarse que el único indicador que ha disminuido en este periodo es el de la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (Gráfica 7); sin embargo, la cantidad de dióxido de carbono producido en términos totales sigue incrementándose. Lo cual quiere decir que a pesar de una marcada mejoría en la utilización de la energía primaria (menos toneladas de CO₂ generadas por cada unidad de energía consumida) las emisiones totales no han disminuido, sino que se han incrementado conforme se incrementa la escala de la economía (Tabla 3). Por lo que se concluiría que la mejora en intensidad de emisiones no ha logrado desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones.

Gráfica 4
Población total de México (1960-2023)



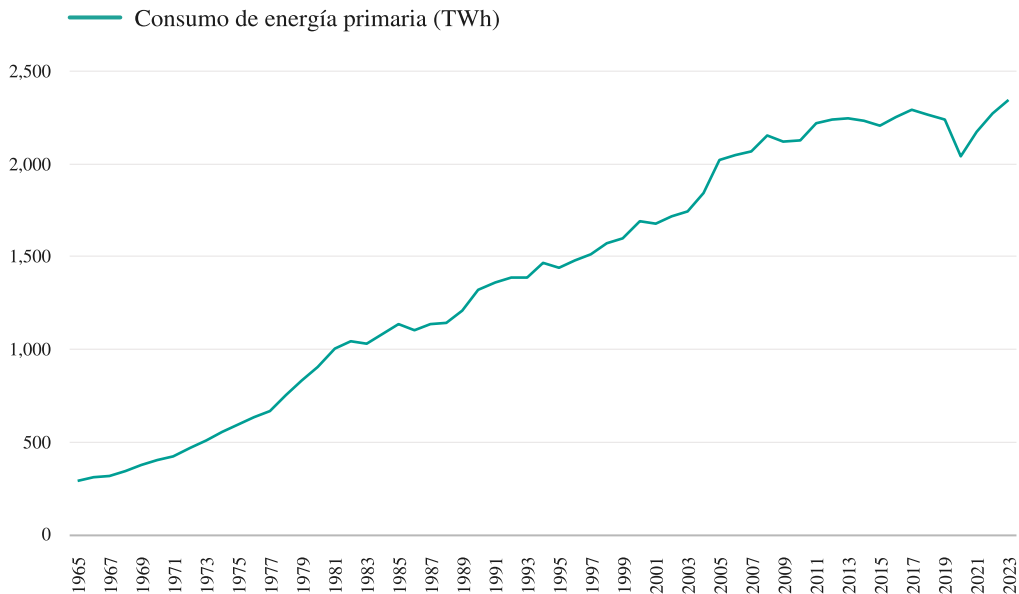
Fuente: elaboración propia con datos de Banco Mundial (2025b).

Gráfica 5
Producto Interno Bruto *per cápita* de México, \$US a precios constantes de 2015 (1960-2023)



Fuente: elaboración propia con datos de Banco Mundial (2025c).

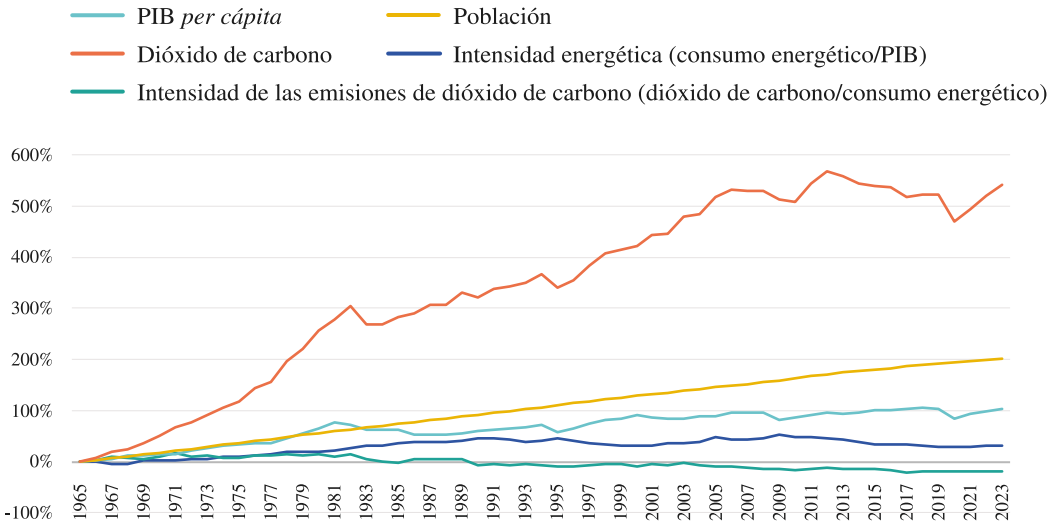
Gráfica 6
Consumo de energía primaria* en México, expresado en TWh (1965-2023)



* Incluye sólo combustibles comercializados (carbón, gas, petróleo), energía nuclear y energías renovables modernas. No incluye biomasa tradicional.

Fuente: elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (2023) y Energy Institute (2024).

Gráfica 7
Cambio porcentual respecto a 1965 en los 4 parámetros de la identidad de Kaya, los cuales determinan el total de emisiones de CO₂, México (1965-2023)



Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
Cambios absolutos y relativos en las variables de la identidad de Kaya (1965-2023)

	1965	2023	Cambio absoluto	Cambio relativo
CO ₂	75,167,900 t	482,623,460 t	407,455,560 t	542.06%
Población	43,174,477	129,739,759	86,565,282	200.50%
PIB <i>per cápita</i>	\$ 5,021.35	\$ 10,241.89	\$ 5,220.55	103.97%
Consumo energético	293 TWh	2,348 TWh	2,055 TWh	700.49%
Intensidad de las emisiones de CO ₂	256,261.28 toneladas por TWh	205,542.79 toneladas por TWh	-50,718.49 toneladas por TWh	-19.79%
Intensidad energética	1.35 kWh por dólar	1.76 kWh por dólar	0.41 kWh por dólar	30.60%*

* Diferencias en decimales debido al redondeo de las cifras de kWh.

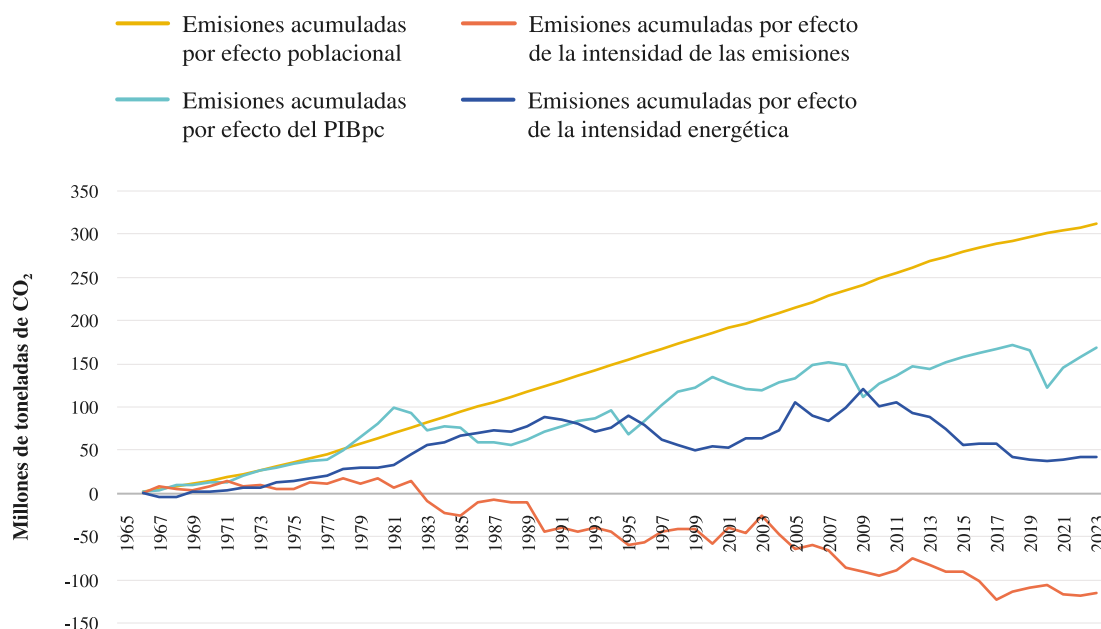
Fuente: elaboración propia.

Resultados del método LMDI

El periodo de estudio utilizado para aplicar el método LMDI tuvo que iniciar en 1965, ya que los datos para el consumo de energía en México sólo pudimos localizarlos en bases de datos con fecha inicial de 1965 (ver Gráfica 6). Y tal como puede apreciarse en la Gráfica 8, el comportamiento de los efectos de cada variable se corresponde con el comportamiento general de la identidad de Kaya, pero ahora observando el efecto de cada variable en las emisiones acumuladas de CO₂.

El único factor que redujo las emisiones de dióxido de carbono en el periodo analizado fue el de la intensidad de las emisiones (ICO_2), pero esta tendencia es engañosa, ya que tanto el consumo energético como las emisiones de dióxido de carbono se incrementaron, pero la tasa de crecimiento del consumo energético fue mucho mayor a la tasa del crecimiento de las emisiones (Tabla 5). Lo cual quiere decir que la mejora en intensidad de emisiones no ha logrado desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones, únicamente se ha hecho más eficiente el uso de energía en términos de generación de emisiones. Sin embargo, debe resaltarse que debido a esta mejora en intensidad de las emisiones se logró que alrededor de 115 millones de toneladas de CO_2 no fueran emitidas a la atmósfera entre 1965 y 2023 (Gráfica 8); aunque atendiendo a un ‘efecto rebote’ puede que las mejoras en eficiencia hayan incentivado el crecimiento económico y con ello un incremento en el total emisiones. Por su parte, los factores que más contribuyeron al incremento de emisiones fueron la población y el PIB *per cápita*. Y aunque la intensidad energética (IE) también ha contribuido positivamente al incremento de emisiones, podemos apreciar una tendencia a la baja a partir de 2009, lo cual quiere decir que al menos en el corto plazo se ha producido más riqueza con menos emisiones, sin embargo, como hemos analizado, se trata sólo de una mejoría relativa a corto plazo.

Gráfica 8
Resultados de la descomposición del método LMDI aplicado
a las emisiones de CO_2 de México (1965-2023)



Fuente: elaboración propia.

c) *Serie 1895-2022 (PIB a precios constantes de 2011 en \$US)*

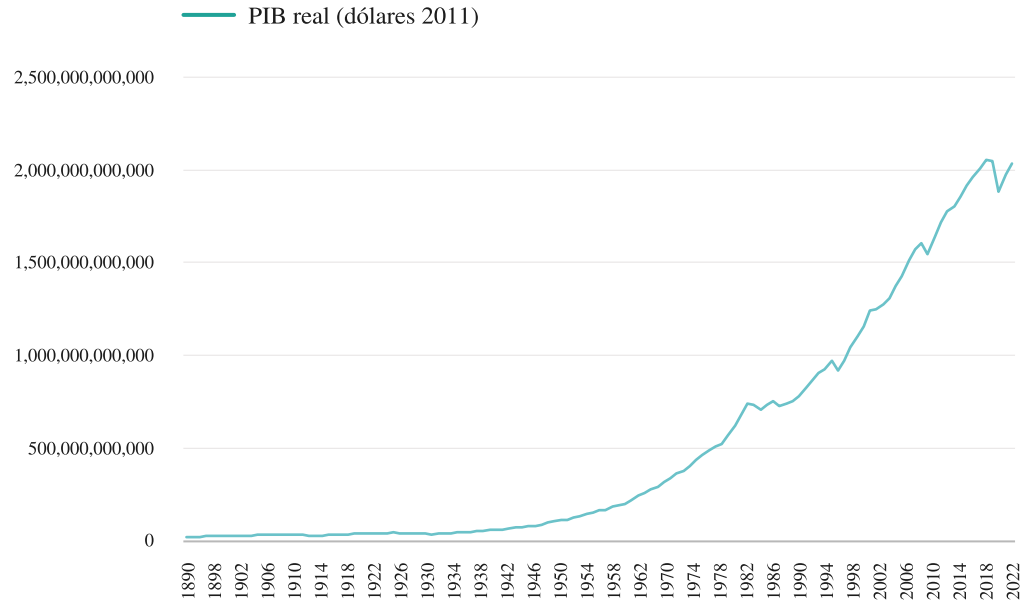
Resultados con el método de Tapio

Para el periodo que va de 1895 a 2022 el resultado con el método de Tapio indica que no hubo desacoplamiento positivo, sino un ‘desacoplamiento negativo expansivo’ (Tabla 4); es decir, tanto el Producto Interno Bruto (Gráfica 9) como las emisiones de dióxido de carbono (Gráfica 10) incrementaron, pero la tasa de crecimiento

de emisiones de CO₂ fue mayor. El PIB creció a una tasa promedio anual de 3.72% y las emisiones de CO₂ a crecieron una tasa promedio anual de 5.39%. De los 127 periodos de estudio, en 41 hubo un desacoplamiento negativo expansivo, en 7 un desacoplamiento recesivo, en 15 un acoplamiento expansivo, en 1 un acoplamiento recesivo, en 23 un desacoplamiento débil, en 4 un desacoplamiento negativo débil y en 26 un desacoplamiento fuerte (Tabla 5).

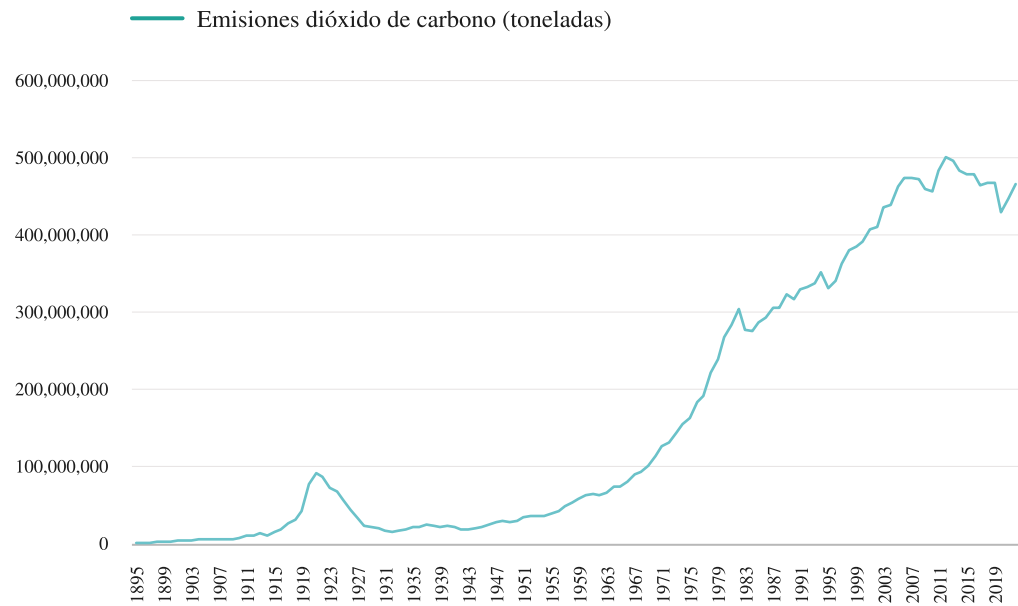
El PIB en 2022 fue 9,139% más grande que en 1895 y 11,056% más grande que en 1890 (Gráfica 4) y las emisiones de CO₂ en 2022 fueron 30,881% más grandes que en 1895 (Gráfica 5). Por lo que las emisiones anuales de dióxido de carbono son alrededor de 300 veces más grandes ahora que a fines del siglo XIX y la economía es alrededor de 100 veces más grande.

Gráfica 9
Producto Interno Bruto (PIB) de México, US\$ a precios constantes de 2011 (1890-2022)



Fuente: elaboración propia con datos de Bolt y Van Zanden (2024a; 2024b).

Gráfica 10
 Emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂) en México, toneladas (1895-2022)



Fuente: elaboración propia con datos de *Global Carbon Budget* (2024).

Tabla 4
 Resultados del periodo con método de Tapio (1895-2022)

Periodo	PIB (promedio de variación % anual)	Emisiones CO ₂ (promedio de variación % anual)	Valor de Tapio	Tipo de desacoplamiento
1895-2022	3.72%	5.39%	1.45	Negativo expansivo

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
 Desacoplamiento en México (1895-2022) con el método de Tapio, PIB contra emisiones de CO₂

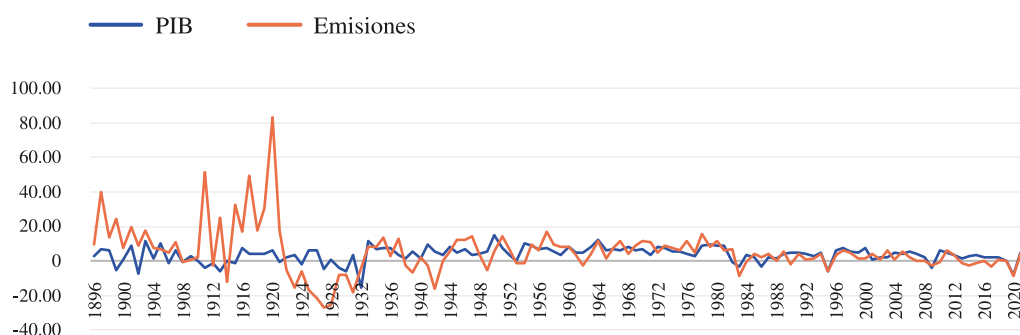
Años con desacoplamiento negativo expansivo	41
Años con desacoplamiento recesivo	7
Años con acoplamiento expansivo	15
Años con acoplamiento recesivo	1
Años con desacoplamiento débil	23
Años con desacoplamiento negativo débil	4
Años con desacoplamiento fuerte	26
Años con desacoplamiento negativo fuerte	10

Fuente: elaboración propia.

Visualización inicial y gráficas de dispersión

Al analizar la serie 1895-2022, se observa que en los primeros años hay una mayor diferencia entre las tendencias del CO₂ y el PIB. El valor absoluto de la diferencia entre ambas variables fue de 15.2% para el periodo 1895-1942, mientras que para el resto de la serie, 1943-2022, apenas fue del 3.5%. Este cambio coincide con el proceso de industrialización acelerada de México a partir de la década de los 40 (Kessing, 2011), que está asociado a un mayor crecimiento de emisiones de CO₂ (Kasperowicz, 2015).

Gráfica 11
Crecimiento del PIB vs emisiones de CO₂ en México, 1895-2022



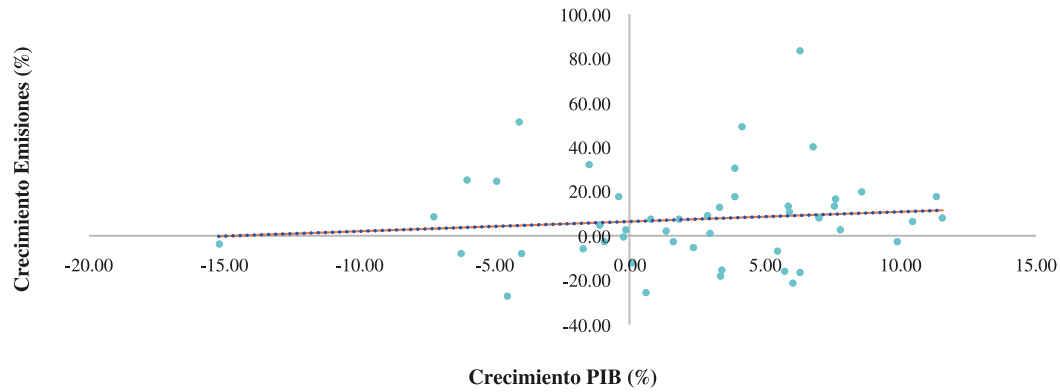
Fuente: elaboración propia.

Con base en lo anterior, se aplicaron algunas pruebas de ruptura estructural. En primer lugar, se realizó la prueba Bai-Perron (1998), la cual identifica una única ruptura estructural en la media de la divergencia entre el crecimiento del PIB y de las emisiones de CO₂. De acuerdo con el Criterio de Información Bayesiano (BIC), el modelo óptimo indica que la ruptura se localiza a finales de la década de los 20 del siglo pasado, lo que aunado a la evidencia gráfica sugiere el inicio de un proceso de cambio estructural en la relación entre ambas variables, el cual se consolida posteriormente durante el periodo de industrialización asociado a la segunda guerra mundial (Kessing, 2011).

En segundo lugar, se aplicó la prueba de Chow (1960) fijando el punto de corte en 1942. Los resultados permiten rechazar la hipótesis nula de estabilidad estructural ($F = 43.5$ y $p < 0.001$), lo que indica que la divergencia promedio entre el crecimiento del PIB y el crecimiento de las emisiones de CO₂ cambia de forma estructural a partir de dicho año.

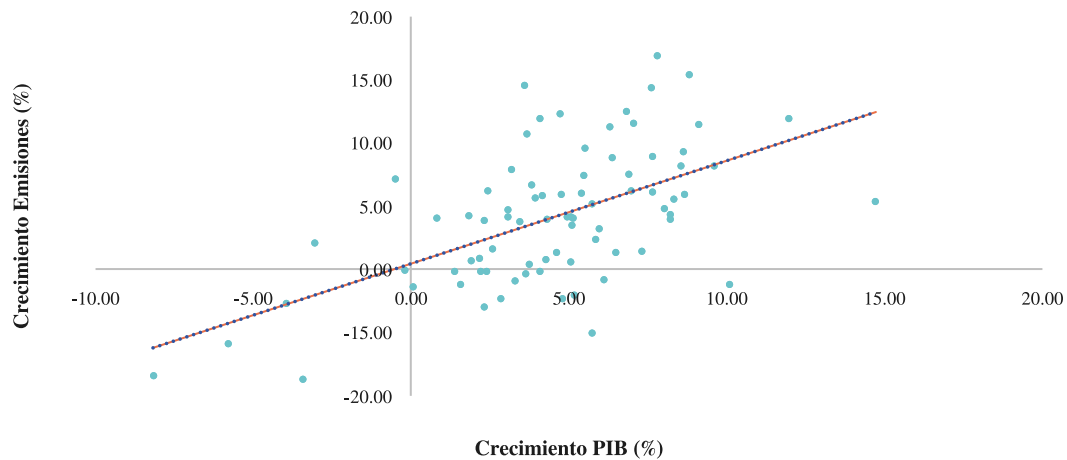
A continuación, se muestran las gráficas de dispersión de los periodos mencionados, donde podemos apreciar una ruptura estructural a partir de 1943. En la primera (Gráfica 12), se aprecia que la línea de tendencia tiene una menor inclinación, en comparación con la gráfica del periodo 1943-2022 (Gráfica 13), en donde se aprecia una línea de tendencia similar a una de 45 grados.

Gráfica 12
Relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento del CO₂, 1895-1942



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 13
Relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento del CO₂, 1943-2022



Fuente: elaboración propia.

Para corroborar esta información, se realizaron regresiones simples para cada periodo. En el primero no hay evidencia de una relación entre el PIB y las emisiones de CO₂. La variabilidad es muy grande y el modelo no explica nada. Por otro lado, a partir de 1943, el crecimiento del PIB sí está fuertemente correlacionado con el crecimiento de las emisiones. El modelo explica el 31% de la variabilidad en CO₂, con un coeficiente de 0.82.

Para complementar el ejercicio anterior, se obtuvo el ángulo de inclinación de la línea de tendencia, toda vez que nos brinda información sobre la velocidad del cambio relativo entre ambas variables. Si el ángulo es mayor, implica que un incremento en el PIB está fuertemente asociado con un aumento en las emisiones, lo que refleja la dependencia de la actividad económica de las fuentes contaminantes. Específicamente, si el ángulo es de 45 grados, implica que la relación entre las dos variables es de uno a uno.

Para el primer periodo, el ángulo fue de 23.6 grados, mientras que en el segundo es de 39.2, lo que da cuenta de la fuerte relación que existe entre el crecimiento de las dos variables de estudio, acercándose a los 45 grados.

Lo anterior refuerza la idea que el crecimiento económico está claramente vinculado con el crecimiento de emisiones a partir de 1943, coincidentemente con la etapa de la industrialización acelerada en México (en el auge manufacturero, conocido como sustitución de importaciones). Antes de ese periodo, la variabilidad de emisiones era mucho mayor que antes de la industrialización (no hay que perder de vista que se está estudiando el crecimiento porcentual y no los valores absolutos).

Debido a que sólo encontramos vínculo entre las dos variables a partir de 1943, las pruebas de correlación, de cointegración, así como el Modelo de Corrección de Errores, se harán tomando en cuenta sólo este segundo periodo (1943-2022).

d) Serie 1943-2022 (PIB a precios constantes de 2011 en \$US)

Pruebas de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson es de 0.5636, lo que indica que hay una correlación positiva moderada-fuerte entre las variaciones del PIB y de las emisiones de CO₂; es decir, en términos generales, cuando el PIB aumenta, las emisiones de CO₂ también tienden a aumentar.

Tabla 6
Resultados de correlación de Pearson (1943-2022)

<i>Coefficiente</i>	<i>p value</i>	<i>Intervalo de confianza</i>	
		<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
0.56365549	5.2163E-08	0.39255434	0.69704687

Fuente: elaboración propia.

El valor p es extremadamente pequeño, lo que sugiere que la correlación estimada es estadísticamente significativa y es poco probable que sea producto del azar. El intervalo de confianza es de 0.39 y 0.70, lo que indica que, en el peor de los casos, es una correlación moderada y en el peor, una fuerte. En otras palabras, la relación no es una casualidad, sino una tendencia real de los datos. El coeficiente de correlación de Spearman fue de 0.5207, lo que indica que la relación de crecimiento PIB-CO₂ es consistente a partir de 1943.

Prueba de Cointegración de Johansen

La prueba de Johansen evalúa si existe una relación de cointegración entre las variables; es decir, si comparten una tendencia común a largo plazo

Tabla 7
Resultados del Método de Cointegración de Johansen (1943-2022)

<i>Rango</i>	<i>Estadístico</i>	<i>10%</i>	<i>5%</i>	<i>1%</i>
$r \leq 1$	28.14232885	10.49	12.25	16.26
$r = 0$	59.33278678	22.76	25.32	30.45

Fuente: elaboración propia.

Los dos estadísticos superan los valores críticos (al 5%), lo que implica que hay dos relaciones de cointegración entre el crecimiento del PIB y del CO₂. Este resultado sugiere que, a largo plazo, las dos variables tienden a moverse juntas; es decir, la cointegración se da tanto en relaciones de equilibrio como en velocidad de ajuste.

Modelo de Corrección de Errores (VECM)

Con la prueba de Johansen se prueba que ambas variables mantienen una relación estable, pero, no sabemos cómo se ajustan las variables cuando se desvían de ese equilibrio. Por esta razón, se realizará un Modelo de Corrección de Errores (VECM), para conocer cómo las desviaciones de corto plazo afectan la dinámica de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo.

Los resultados del modelo VECM se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8
Resultados del Modelo de Corrección de Errores (VECM) (1943-2022)

	<i>PIB</i>	<i>Emisiones</i>
ect1	-0.8045	-0.467
Constante	7.4441	4.3508
PIB	-0.7412	0.2325
Emisiones	-0.1725	-0.4922

Fuente: elaboración propia.

El valor ect1 para el PIB es de -0.8045, lo que indica que cuando hay un desequilibrio en el sistema, el PIB ajusta más rápidamente. Por otro lado, la misma variable del CO₂ es de -0.467, valor más cercano a 0 que el del PIB, por lo que el ajuste en las emisiones es más lento que su contraparte. Las constantes del modelo indican que las tendencias de ambas variables en el mismo sentido se mantienen en el largo plazo.

IV. DISCUSIÓN

A nivel mundial la mayor parte de las economías no están desacopladas y son sólo algunos de los países más dinámicos económicamente quienes pueden presumir de algunos periodos consistentes de *desacoplamiento absoluto* en el corto plazo. En este sentido, un estudio de 2023 (Vogel y Hickel, 2023) concluye que, de 36 países de ingreso elevado que fueron estudiados, sólo 11 habían recientemente (entre 2013 y 2019) alcanzado el desacoplamiento absoluto (en términos de emisiones de carbono); es decir, que el crecimiento económico se dio sin que las emisiones de carbono crecieran en términos absolutos, contrario a lo que sucede en la mayor parte del mundo, donde el desacoplamiento es relativo; es decir, el crecimiento económico reduce su dependencia de las emisiones de carbono, pero sólo en términos porcentuales, la economía crece más con menos emisiones pero el ritmo de crecimiento es tal que visto en términos absolutos las emisiones siguen aumentando. Observando el problema sin visión de largo plazo, anclados en las coyunturas, podríamos festejar estos datos con bombo y platillo; sin embargo, las tasas de estos 11 países que están consiguiendo el desacoplamiento absoluto (en el muy corto plazo) estarían muy lejos de lo que es necesario para limitar el calentamiento global a una temperatura debajo de los 1.5°C que exigen los Acuerdos de París. Además,

es necesario mencionar que los países que consiguen en el corto plazo el desacoplamiento absoluto, que son países desarrollados, lo consiguen principalmente debido a que externalizan el daño ambiental a países pobres a los que desplazan sus actividades más contaminantes (Bruckner *et al.*, 2023). E incluso en el caso de que año con año se lograra una tasa cero de crecimiento de emisiones (la misma cantidad de emisiones todos los años) el tamaño actual de la economía hace necesaria una emisión constante de contaminantes a escalas gigantescas. Así, al hablar de desacoplamiento también tiene que comenzar a entrar en el debate la discusión sobre la necesidad del decrecimiento de la economía, ya que la escala actual de la producción económica hace difícil pensar en una reducción sustancial de las emisiones de dióxido de carbono aún en los casos en los que hay desacoplamiento absoluto. En palabras de algunos teóricos del decrecimiento: “El debate se basa en cuánta reducción es necesaria para la sostenibilidad y si existe una escala óptima de la economía” (Martínez-Alier *et al.*, 2010: 1743).

CONCLUSIONES

Utilizando el método de desacoplamiento de Tapio se llega a la conclusión de que en el mediano plazo hubo un ‘acoplamiento expansivo’, donde la economía y las emisiones de dióxido de carbono crecen de manera similar, y en el largo plazo hubo un ‘desacoplamiento negativo expansivo’, donde las emisiones crecieron de manera más significativa que el valor de la economía. Utilizando las variables de la identidad de Kaya aplicadas al método LMDI podemos observar que el único factor que redujo las emisiones de dióxido de carbono en el periodo 1965-2023 fue el de la intensidad de las emisiones (CO_2 / Consumo energético); sin embargo, esta tendencia es engañosa, ya que tanto el consumo energético, como las emisiones de dióxido de carbono, se incrementaron, pero la tasa de crecimiento del consumo energético fue mucho mayor a la tasa del crecimiento de las emisiones. Lo cual quiere decir que la mejora en intensidad de emisiones no ha logrado desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones, únicamente se ha hecho más eficiente el uso de energía en términos de generación de emisiones. Este fenómeno en el cual el aumento de eficiencia en el uso de energía incrementa la escala de la producción en lugar de reducirla, podría interpretarse desde el fenómeno conocido como Paradoja de Jevons o Efecto Rebote (Gómez Garza, 2024).

En términos de política pública, podemos concluir mencionando que el gobierno mexicano lanzó en 2024, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), un documento titulado “Bases para la elaboración de un diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México”, donde se plantea la necesidad de comprender cómo opera la economía en términos de utilización de recursos y en un primer acercamiento se asegura que México es un país con poca circularidad; es decir, prácticamente no se reutilizan materiales (el índice de circularidad de los materiales en México fue del 0.4% del total del consumo), lo cual potencia la generación de residuos y las emisiones de CO_2 . En este contexto, el documento pone sobre la mesa la necesidad de transitar a una Economía Circular y considera que para “emprender esta ambiciosa transición, es fundamental comprender la urgente necesidad de desacoplar el crecimiento económico del país, de aquellas externalidades socioambientales que ponen en riesgo la disponibilidad de los recursos estratégicos y el equilibrio ecológico” (SEMARNAT, 2024: 12). El documento de la SEMARNAT sólo menciona dos veces la idea del desacoplamiento, sin profundizar en cómo ha ocurrido el fenómeno en México; sin embargo, es necesario analizar con detenimiento el fenómeno para presentarlo con más detalle al momento de realizar política pública. Es en este sentido que también este artículo servirá como un primer acercamiento personal al estudio del fenómeno en varias ramas de la economía mexicana (desde el nivel municipal hasta el nacional) y en términos de otros tipos de contaminantes y residuos.

REFERENCIAS

- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32(9), 1131-1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867-871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- Bai, J. y Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 66(1), 47-78. <https://doi.org/10.2307/2998540>
- Banco Mundial. (2025a). *PIB (US\$ a precios constantes de 2015) – México*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD?locations=MX>
- Banco Mundial. (2025b). *Población, total – México*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=MX>
- Banco Mundial. (2025c). *PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2015) – México*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.KD?locations=MX>
- Bleischwitz, R., Yang, M., Huang, B., Xu, X., Zhou, J., McDowall, W., Andrews-Speed, P., Liu, Z. y Yong, G. (2022). The circular economy in China: achievements, challenges and potential implications for decarbonization. *Resources, Conservation & Recycling*, 183, Article 106350. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106350>
- Bolt, J. y van Zanden, J. L. (2024a). *Maddison Project Database 2023*. <https://doi.org/10.34894/INZBF2>
- Bolt, J. y van Zanden, J. L. (2024b). Maddison style estimates of the evolution of the world economy: a new 2023 update. *Journal of Economic Surveys*, 1-41. <https://doi.org/10.1111/joes.12618>
- Bruckner, B., Shan, Y., Prell, C., Zhou, Y., Zhong, H., Feng, K. y Hubacek, K. (2023). Ecologically unequal exchanges driven by EU consumption. *Nature Sustainability*, 6, 587-598. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-01055-8>
- Chow, G. C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*, 28(3), 591-605. <https://doi.org/10.2307/1910133>
- Dai, S., Zhang, M. y Huang, W. (2016). Decomposing the decoupling of CO₂ emission from economic growth in BRICS countries. *Natural Hazards*, 84, 1055-1073. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2472-0>
- de Freitas, L. C. y Kaneko, S. (2011). Decomposition of CO₂ emissions change from energy consumption in Brazil: challenges and policy implications. *Energy Policy*, 39(3), 1495-1504. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.023>
- Engle, R. F. y Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- García Ochoa, R. (2023). Energy, development, and climate change in Mexico: decomposition analysis of electric emissions, 2001-2019. *El Trimestre Económico*, 90(359), 731-771. <https://doi.org/10.20430/ete.v90i359.1749>
- Global Carbon Budget. (2024). *Annual CO₂ emissions – GCB* [Dataset]. Global Carbon Project. <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?country=~MEX> (A partir de datos originales de Global Carbon Project)
- Gómez Garza, R. R. (2024). The growth paradigm and the failures of the alternatives within the system: notes towards a dystopian Marxism. *Alternautas*, 11(1), 242-271. <https://doi.org/10.31273/an.v11i1.1451>
- González, D. y Martínez, M. (2012). Decomposition analysis of CO₂ emissions in the Mexican industrial sector. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.01.005>

- Hickel, J. y Kallis, G. (2020). Is green growth possible? *New Political Economy*, 25(4), 469-486. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>
- Huo, T., Ma, Y., Yu, T., Cai, W., Liu, B. y Ren, H. (2021). Decoupling and decomposition analysis of residential building carbon emissions from residential income: evidence from the provincial level in China. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, Article 106487. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106487>
- Inglesi-Lotz, R. (2018). Decomposing the South African CO₂ emissions within a BRICS countries context: signalling potential energy rebound effects. *Energy*, 147, 648-654. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.150>
- Jardón, A., Kuik, O. y Tol, R. S. J. (2017). Economic growth and carbon dioxide emissions: an analysis of Latin America and the Caribbean. *Atmósfera*, 30(2), 87-100. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.02.02>
- Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59(6), 1551-1580. <https://doi.org/10.2307/2938278>
- Kaya, Y. y Yokobori, K. (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. United Nations University Press.
- Kasperowicz, R. (2015). Economic growth and CO₂ emissions: the ECM analysis. *Journal of International Studies*, 8(3), 91-98. https://www.jois.eu/files/07_Kasperowicz.pdf
- Kessing, D. B. (2011). Structural change early in development: Mexico's changing industrial and occupational structure from 1895 to 1950. *The Journal of Economic History*, 29(4), 716-738. <https://doi.org/10.1017/S0022050700071953>
- Kouyakhi, N. R. (2022). CO₂ emissions in the Middle East: decoupling and decomposition analysis of carbon emissions, and projection of its future trajectory. *Science of the Total Environment*, 845, Article 157182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157182>
- Kurniawan, R., Sugiawan, Y. y Managi, S. (2018). Cleaner energy conversion and household emission decomposition analysis in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 201, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.051>
- Martínez-Alier, J., Pascual, U., Vivien, F. D. y Zaccai, E. (2010). Sustainable de-growth: mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm. *Ecological Economics*, 69(9), 1741-1747. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.017>
- Ozdemir, A. C. (2023). Decomposition and decoupling analysis of carbon dioxide emissions in electricity generation by primary fossil fuels in Turkey. *Energy*, 273, Article 127264. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127264>
- Raza, M. Y. y Lin, B. (2022). Analysis of Pakistan's electricity generation and CO₂ emissions: based on decomposition and decoupling approach. *Journal of Cleaner Production*, 359, Article 132074. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132074>
- Rüstemoğlu, H. (2023). Growth with environmental pollution? A comprehensive and comparative environmental analysis for the BRICS, Mexico, Indonesia and Türkiye for the period between 1992-2020. *Energy Efficiency*, 16, Article 96. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10175-9>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). *Bases para la elaboración de un diagnóstico de la Estrategia Nacional de Economía Circular en México*. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2024/BASES_ELABORACION_DIAGNOSTICO_PARA_ENEC.pdf
- Sheinbaum-Pardo, C., Mora-Pérez, S. y Robles-Morales, G. (2012). Decomposition of energy consumption and CO₂ emissions in Mexican manufacturing industries: trends between 1990 and 2008. *Energy for Sustainable Development*, 16(1), 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.08.003>

- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72-101. <https://doi.org/10.2307/1412159>
- Tapio, P. (2005). Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 12(2), 137-151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001>
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *Primary energy consumption* [Dataset]. <https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-cons?tab=line&country=~MEX> (A partir de los datos originales de la U.S. Energy Information Administration y el Energy Institute)
- Vogel, J. y Hickel, J. (2023). Is green growth happening? An empirical analysis of achieved versus Paris-compliant CO₂-GDP decoupling in high-income countries. *The Lancet Planetary Health*, 7(9), E759-E769. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00174-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00174-2)
- Zhang, M., Liu, X., Wang, W. y Zhou, M. (2013). Decomposition analysis of CO₂ emissions from electricity generation in China. *Energy Policy*, 52, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.013>
- Zhang, Z. (2000). Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: an economic analysis and policy implications. *World Development*, 28(4), 739-752. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00154-0)