



CRECIMIENTO ECONÓMICO, E M P L E O, INNOVACIÓN y DESIGUALDAD REGIONAL EN MÉXICO

COORDINAN

VÍCTOR HUGO TORRES PRECIADO

YOLANDA CARBAJAL SUÁREZ

LEOBARDO DE JESÚS ALMONTE

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Crecimiento económico, empleo, innovación y desigualdad regional en México

© Universidad de Colima, 2026

Avenida Universidad 333

C.P. 28040, Colima, Colima, México

Dirección General de Publicaciones

Teléfonos: 312 316 1081 y 312 316 1000, extensión: 35004

Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx

www.ucol.mx

Derechos reservados conforme a la ley

Publicado en México / *Published in Mexico*

ISBN electrónico: 978-968-9733-19-5

DOI: 10.53897/LI.2026.0003.UCOL

5E.1.1/317000/018/2025 Edición de publicación no periódica



Este libro está bajo la licencia de Creative Commons, Atribución – NoComercial - CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Usted es libre de: Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar: remezclar, transformar y construir a partir del material bajo los siguientes términos: Atribución: Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. NoComercial: Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. CompartirIgual: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 International License.

You are free to: Share: copy and redistribute the material in any medium or format. Adapt: remix, transform, and build upon the material under the following terms: Attribution: You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use. NonCommercial: You may not use the material for commercial purposes. ShareAlike: If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005

Dictaminación doble ciego y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED

Registro: LI-008-25

Recibido: Febrero de 2025

Dictaminado: Junio de 2025

Publicado: Febrero de 2026

Índice

Introducción general.....	7
Capítulo 1. Crecimiento económico y manufactura. Un análisis desde las regiones de México.....	14
<i>Leobardo de Jesús Almonte</i> <i>Víctor Hugo Torres Preciado</i>	
Capítulo 2. La destrucción creativa de la I4.0 y su impacto en la productividad laboral de la manufactura mexicana. Una visión por sexo	37
<i>Mayrén Polanco Gaytán</i> <i>Víctor Hugo Torres Preciado</i> <i>Renato Francisco González Sánchez</i>	
Capítulo 3. Las exportaciones manufactureras en el Estado de México. Un análisis de ventaja comparativa a nivel de subsector, 2007-2023	66
<i>Yolanda Carbajal Suárez</i> <i>Brenda Murillo Villanueva</i>	
Capítulo 4. Identificación y pronóstico de los ciclos del empleo en Ciudad Juárez, Chihuahua, México	100
<i>Isaac Sánchez-Juárez</i> <i>Rosa María García-Almada</i>	
Capítulo 5. Desacoplamiento entre actividades productivas y emisiones contaminantes al aire en México, 2003-2022.....	134
<i>Rafael Ortiz Pech</i> <i>Lilian Albornoz Mendoza</i> <i>Javier Becerril García</i>	

Capítulo 6. Implicaciones económicas de la prohibición de las importaciones de maíz transgénico en México.	
Un enfoque de cadena agroalimentaria.....	170
<i>Lilian Alborno Mendosa</i>	
<i>Alba Rosa Rivera de la Rosa</i>	
Capítulo 7. Brecha salarial de género por regiones en México.	
Un estudio de regresión cuantil.....	195
<i>Dayna Priscila Saldaña Zepeda</i>	
<i>Mayrén Polanco Gaytán</i>	
Capítulo 8. La pobreza por ingresos como detonante de las carencias habitacionales y servicios básicos de la vivienda en Zonas Metropolitanas de México en 2020	221
<i>Gabriel Darío Ramírez Sierra</i>	
<i>Roldán Andrés-Rosales</i>	
Capítulo 9. El comercio exterior agropecuario de México.	
El caso del jitomate 2002-2022	258
<i>Laura Elena del Moral Barrera</i>	
Capítulo 10. Estrategias de gestión administrativa para mejorar el desempeño de las Mipymes en Baja California. Un enfoque basado en ecuaciones estructurales.....	316
<i>Sósima Carrillo</i>	
<i>Renato Francisco González Sánchez</i>	
<i>Ana Jazmín Sandoval Sánchez</i>	
Conclusiones generales	348
Reseñas curriculares	350

Capítulo 5. Desacoplamiento entre actividades productivas y emisiones contaminantes al aire en México, 2003-2022

Rafael Ortiz Pech
Lilian Albornoz Mendoza
Javier Becerril García

Introducción

Las actividades productivas que se realizan en la economía conllevan amplias repercusiones ambientales en la biósfera, atmósfera e hidrósfera. Los procesos de producción realizados por los productores requieren la transformación de materias primas o insumos en productos finales que satisfacen las necesidades de los consumidores, estos insumos son recursos naturales, ya sea renovables o no renovables que, al ser usadas dentro del proceso de producción, provocan la generación de residuos sólidos o emisiones contaminantes que afectan al ambiente.

Por tanto, el efecto ambiental provocado por las actividades productivas se da prácticamente en todos los sectores de la producción; por ejemplo, la producción agrícola requiere insumos como fertilizantes y herbicidas con el propósito de aumentar la producti-

vidad del campo; sin embargo, se producen efectos secundarios al contaminar el agua, el aire y el suelo. Otro caso es la producción industrial que implica la transformación de insumos, pero provoca la degradación y agotamiento de recursos naturales renovables y no renovables, como la producción manufacturera textil que, al realizar el lavado de las prendas fabricadas, provoca la contaminación del agua y si no es tratada afecta el manto freático. Otra de las actividades del sector terciario que provocan afectaciones ambientales son la prestación de servicios, como usar algún medio de transporte para la distribución de mercancías implica la quema de combustibles fósiles que contaminan al aire.

Estos ejemplos evidencian como las actividades productivas impactan al ambiente. La afirmación se hace evidente cuando la institución encargada de las estadísticas nacionales, como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) considera la relación entre la producción nacional y medio ambiente, por medio de la medición del valor de las actividades productivas expresadas por el producto interno bruto (PIB), así como de las afectaciones ambientales de esas mismas actividades por los costos totales de agotamiento y degradación ambiental (CTADA), que permiten estimar el producto interno bruto verde o el producto interno neto ajustado ambientalmente (PINA).

Para esta medición, el INEGI (2024) publica actualizaciones de las cuentas nacionales y, dentro de ellas, las cuentas económicas y ecológicas y los agregados macroeconómicos derivados de las mismas, como son el PINA, el producto interno neto ecológico (PINE) y los gastos de protección ambiental (GPA). Para ello, el INEGI sigue los lineamientos metodológicos internacionales, de modo que las estadísticas proporcionadas son consistentes con las cuentas de producción y pueden usarse para diversos análisis. Otra fuente clave para las emisiones al aire es el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (Inegycei), que publica información sobre emisiones de bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

Así, estas estadísticas se pueden usar para calcular indicadores que ayuden a la toma de decisiones de política pública que permita mitigar las afectaciones al medio ambiente provocadas

por las actividades de producción. Con base en lo anterior, esta investigación tiene como objetivo estimar y analizar el índice de desacoplamiento que muestra la relación entre tasa de cambio de las actividades productivas y la tasa de cambio de las emisiones contaminantes al aire en México para el periodo 2003-2022. Esto permite conocer el tipo de desacoplamiento entre el PIB y las emisiones contaminantes al aire más recurrente para el periodo analizado. Por tipo de desacoplamiento se entiende la existencia de dos posibles resultados: desacoplamiento; es decir, mientras el cambio porcentual de la producción aumenta, el cambio porcentual de las emisiones contaminantes al aire disminuye, de modo que existe una relación inversa. Por su parte, el acoplamiento entre la producción y las emisiones existe cuando se da una relación directa o positiva; es decir, la tasa de cambio del PIB y las emisiones al aire se incrementan.

Si bien el índice de desacoplamiento tiene limitaciones y su interpretación puede ser controversial, su utilidad permite conocer el rumbo que lleva la economía, ya que se espera que a medida que aumenta la producción nacional, las emisiones contaminantes al aire se incrementarán también en mayor magnitud; por tanto, analizar el índice de desacoplamiento para México es importante, pues el interés internacional por el cuidado del ambiente es creciente y urge tomar medidas ante las emisiones contaminantes provocadas por el crecimiento económico, cuyos efectos negativos se reflejan sobre los recursos naturales y en la salud humana. Así, el estudio ayuda a generar información oportuna para la toma de decisiones, pues el uso de los recursos naturales tiene una capacidad finita para proveer a las actividades productivas (Isa, Ortúzar y Quiroga, 2005).

Para desarrollar la investigación; en primer lugar, se presenta la fundamentación teórico y conceptual; seguida por la metodología, en la cual se presenta el procedimiento de realización de la investigación; luego se desarrolla el tema que se presenta el cálculo y análisis del índice de desacoplamiento; para concluir, se presentan algunas recomendaciones de política ambiental, así como las referencias consultadas.

Aspectos teóricos

Las actividades productivas y el medio ambiente

El valor de la producción para una economía se expresa por el PIB. Al hacer comparaciones intertemporales de ese valor, se hace referencia a la tasa de crecimiento económico que implica un cambio (positivo o negativo) en la producción de bienes y servicios para una determinada economía, expresada en términos monetarios. Si la tasa de crecimiento del PIB es positiva, entonces se interpreta que la economía es creciente; por tanto, en auge. Por otro lado, si la tasa de crecimiento económico es negativa se interpreta como una disminución productiva al comparar dos periodos de tiempo y las autoridades encargadas por velar la economía pueden intervenir para revertir esta situación (Samuelson y Nordhaus, 2010).

Una tasa de crecimiento económico positivo implica mayor uso de insumos o recursos naturales provenientes del medio ambiente, estos recursos pueden ser renovables y no renovables, por lo que, ante la carencia o escasez, puede limitar la producción de bienes y servicios y un mayor uso de recursos naturales trae mayores emisiones contaminantes.

Tradicionalmente, el modelo de crecimiento económico (Y) considera dos factores productivos: capital físico (K) y mano de obra (L); sin embargo, el insumo capital requiere una inversión continua, pues se deprecia al pasar el tiempo y es necesario renovar el inventario de capital (Solow, 1956). Más inversión de capital conlleva a incrementar la producción, y si se agrega más capital nuevo se produce más producción, y así sucesivamente. Este es un principio básico del proceso productivo que implica una mayor tasa de crecimiento económico con más inversión en capital físico. Por parte de la mano de obra (L), se espera mayor capacitación y destrezas para producir usando el capital físico; por eso, combinar K y L propicia mayor y mejor proceso productivo usando recursos naturales.

Como se observa, el modelo de crecimiento económico anterior y la función de producción subyacente ($Y = K, L$) no considera como factores de producción a los recursos naturales; sin embargo, Ibarra (2013) adapta el modelo anterior para incorporar el reciclaje o reúso de materias primas (R), de modo que la función se reescribe

como $Y = (K, L, R)$ y postula que la producción puede incrementarse si se considera el reciclaje (R) junto con K y L. A pesar del esfuerzo de cuidar el medio ambiente, de nuevo existe dependencia con los recursos naturales y así la emisión de contaminantes.

Otro modelo de crecimiento económico que contemplan los recursos naturales es el de Meadow et al. (1972) quienes indican que el proceso productivo requiere insumos físicos (herramientas), insumos sociales (paz, estabilidad social) y sobre todo los insumos ambientales (recursos naturales), los cuales son necesarios, aunque no suficientes para el crecimiento económico. Así, suponiendo que los insumos sociales prevalecen en condiciones idóneas, es decir no cambian, ¿cuánto crecimiento económico se puede soportar? La respuesta que señalan es la existencia de un límite superior en la producción, pues existe un tope o límite al usar recursos naturales o insumos, de modo que más allá no se garantiza un crecimiento económico.

Si bien, los modelos de crecimiento económico anteriores consideran que los recursos naturales son importantes para el proceso productivo, si se hace una revisión bibliográfica se podrá observar una escasez de modelos de este tipo. Ante la prioridad de tomar en cuenta a los recursos naturales en los procesos productivos, surge la propuesta conocida como *the limits of growth* (los límites del crecimiento) siendo la base para las propuestas orientadas al marco conceptual y teórico del paradigma conocido como desarrollo sustentable.

Por tanto, el proceso de producción que se origina usando insumos provenientes del ambiente provoca costos ambientales, los cuales pueden ser de dos tipos: costos de degradación y costos de agotamiento, relacionados con el aprovechamiento de recursos renovables y los no renovables, respectivamente. Así, los recursos renovables no deben usarse más allá de su capacidad de autorregeneración y los recursos no renovables deben usarse con diligencia y adecuada administración para garantizar su disponibilidad a futuras generaciones (Montaño, 2015).

Crecimiento económico verde (Green Growth)

Ligado a los límites del crecimiento surge un nuevo término, conocido como *Green Growth*, adoptado por algunos intelectuales, ya sea con mucho o poco entusiasmo. Hay quienes ven el concep-

to como algo más orientado al sector público que al privado en cuanto a regulaciones e inversiones, y laboran en este campo sin la seguridad de los alcances del término, asimismo lo consideran como una paradoja en cuanto se apoya en supuestos económicos poco arraigados, lo que limita su credibilidad. Sin embargo, conforme pasa el tiempo, el avance de las investigaciones provoca mayor respaldo en los centros universitarios e instituciones de investigación (Derwent y Blachowicz, 2015b).

Por tanto, ya se empieza a adoptar el concepto entre otras instituciones y tomadores de decisión del mundo cuando se consideran los beneficios en el clima y contribuye a la narrativa de las naciones (Derwent y Blachowicz, 2015a). Así, el concepto *Green Growth* enfatiza la necesidad de proteger las diversas formas de capital natural, así como sostener y mejorar la calidad de vida con el paso del tiempo. En este sentido, surgen voces que sostienen que el *Green Growth* puede proponer políticas que reduzcan la degradación ambiental y de los recursos naturales para lograr la sustentabilidad ambiental, sin sacrificar el crecimiento económico, y más aún ayudar a estimular el crecimiento.

Como sostiene el concepto, se fomenta el crecimiento económico al mismo tiempo que se garantiza la disponibilidad de los recursos naturales, de modo que se continúe con la disposición de los recursos y servicios ambientales que proveen bienestar a la población. El éxito de esta propuesta o estrategia dependerá de eliminar los obstáculos que impidan su implementación, así como la preocupación sobre los costos del cambio (Smulder et al., 2014).

Relación entre crecimiento económico, economía circular y la transición energética

Economía circular. Existe una relación estrecha entre crecimiento económico y economía circular, pues a mayor producción, mayores cantidades de recursos naturales se usan. Por tal motivo se necesita promover ayuda al logro del desarrollo sustentable que involucra aspectos sociales, económicos y ambientales. Los primeros estudios del tema de economía circular se encuentran con Pearce y Turner quienes estudiaron la explotación óptima de los recursos naturales (renovables y no renovables) (Da Costa, 2022).

La economía circular preserva el valor de los recursos usados durante más tiempo posible y procura que los desechos no regresen al ambiente, sino que se reincorporen al proceso productivo; es decir, exista la reutilización de insumos provenientes del ambiente ante una creciente demanda de recursos naturales. El modelo promueve nuevas maneras de hacer negocios productivos sinérgicamente entre las políticas de gobierno para el logro del desarrollo sustentable. Los beneficios de este modelo implican reutilización, reparación, redistribución y remanufactura, no tanto del reciclaje; es decir, usar los insumos productivos lo más que se pueda (CEPAL, 2021).

La economía circular gana prestigio para hacer de una economía más eficiente en el uso de recursos y bajas emisiones de contaminantes como el carbono. La barrera más común para alcanzar lo anterior es el aspecto cultural incluyendo falta de interés o de conciencia entre productores y consumidores; por eso, se requiere promover sus beneficios que según el Stockholm Environment Institute (2019) son los siguientes: reducción de gases de efecto invernadero (descarbonización), conservación del ambiente, reducción de costos en el procesamiento productivo, reducción del tiempo de procesamiento productivo, así como la reducción de los costos ambientales asociados, motivación para la innovación y la creación de empleos. Para lograr el impacto esperado, las escuelas del pensamiento, así como los seguidores de la corriente deben promoverlo, contrastando la economía lineal (implica solo el reciclaje) y la economía circular (reciclaje, reúso, reparación, remanufactura, etcétera) (Van y Stegemann, 2023).

Transición energética. Una vez presentadas algunas consideraciones que relacionan actividades productivas y ambientales, otro concepto importante es la transición energética que hace referencia a un cambio en la generación de energía (eléctrica), de fuentes convencionales (diésel, combustóleo, etcétera) a energías amigables con el ambiente. Para este cambio se requiere de un cambio cultural y educativo. Si bien no se espera erradicar el uso de las fuentes no amigables con el ambiente, se espera al menos no superar los umbrales establecidos por las regulaciones o reglamentos, y que se fomente el uso de bioenergéticos, metano, agua, luz solar, nucleoelectrica, viento, energía oceánica, etcétera, para generar energía.

Este cambio, es una decisión política, guiada por objetivos socioeconómicos, geopolíticos y ambientales. El proceso debe ser analizado desde el punto de vista de la demanda y oferta de energía (Janardhanan, 2012); además, esta transición debe ser un tema que se incluye en el debate público y que permeará en todos los sectores de la economía, de modo que provoque crecimiento económico (Yanosek, 2012).

Las cuentas nacionales y el medio ambiente

El sistema de cuentas nacionales (SCN) incluye estadísticas del valor del PIB contabilizando el valor de la producción de bienes y servicios. También considera las cuentas ecológicas haciendo referencia a estadísticas ambientales. El propósito de presentar el SCN es doble: la primera es medir los flujos de bienes y servicios finales los cuales se reflejan en el PIB y, la segunda, es estimar la afectación del capital natural disponible. Una vez hecho estos registros contables, el sistema de cuentas ecológicas permite conocer el efecto ambiental provocado por las actividades de producción que afectan al bienestar humano (ONU, 2002).

Sin embargo, el registro del uso de recursos naturales no siempre refleja el costo de reposición de los recursos renovables ni los costos verdaderos del agotamiento de los recursos no renovables pues “muchos costos son considerados como gratuitos por lo que el impacto ambiental es subestimado” (Aguilera y Alcántara, 2011, p. 17). A pesar de estas desventajas, la utilidad de las cuentas nacionales es sin duda de suma importancia.

El índice de desacoplamiento y el medio ambiente

A partir de la información del SCN se puede estimar el indicador de desacoplamiento para describir el esfuerzo que la sociedad realiza para lograr un crecimiento económico amigable con el ambiente (Muñoz, 2018). Específicamente, el indicador se conoce como el índice de desacoplamiento usado en estudios ambientales y muestra comparativamente las tasas de cambio entre las actividades económicas reflejadas por el PIB (crecimiento económico) y la afectación al medio ambiente por las emisiones al aire contaminantes.

El índice de desacoplamiento fue formulado por primera vez a principios del año 2000 por Zong Xiang Zhang para China (Lin, Beidari y Lewis, 2015); luego la técnica fue adoptada como un indicador clave por la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCED) en 2002; aunque no fue la primera propuesta conceptual para describir los esfuerzos orientados a mantener un crecimiento económico menos dañino al ambiente, pues existen otros términos similares, tales como descarbonización, desenlace, inmaterialización y desarrollo técnico simple, entre otros. A pesar de ello, con el paso del tiempo la noción de desacoplamiento ha logrado un reconocimiento global para la integración ambiental (Muñoz, 2018).

Por su parte, Bithas y Kalimeris (2017) indican que la técnica de desacoplamiento relaciona los recursos que se necesitan para producir bienes y servicios; este requerimiento de recursos se aproxima a la escala humana de producción para satisfacer las necesidades humanas. Así, Mauerhofer (2013) presenta diversas combinaciones entre crecimiento económico y el uso de recursos (degradación ambiental), siendo el postulado más importante “cualquier efecto benéfico sobre lo ambiental será más grande que el efecto sobre el crecimiento económico”. Por tanto, lo ambiental es clave para la sociedad (tabla 1).

Tabla 1

Relaciones entre crecimiento económico y uso de recursos naturales

Crecimiento económico	Crece	Decrece	Crece	Equilibrio	Decrece
Uso de recursos y degradación ambiental	Crece ligeramente	Equilibrio	Decrece	Decrece	Decrece ligeramente

Fuente: Mauerhofer (2013).

Por otro lado, existe una corriente teórica que complementa la discusión del desacoplamiento conocido como *modernización ecológica*, la cual sostiene que diversas instituciones y agentes sociales intentan unir los asuntos del ambiente con la economía, en especial el crecimiento económico. Este enfoque sostiene que, en las etapas tempranas de la modernización, la *racionalidad económica* es la base para evaluar las relaciones sociales, el crecimiento y el desarrollo económico. Mientras exista crecimiento económico, habrá progreso económico, y los males socioambientales son

consecuencias paralelas; sin embargo, en las etapas del progreso económico pleno, se provoca la degradación ambiental de manera significativa (Jorgenson y Clark, 2012).

Metodología empírica

Para cumplir con el objetivo planteado se utiliza la información estadística provista por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), también se usa el Banco de Información Económica (BIE), específicamente las cuentas económicas y ecológicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024). Estas cuentas presentan tres opciones de descarga las cuales fueron consultadas, a saber: a) resumen de oferta y demanda global de bienes y servicios, ajustada ambientalmente, b) PINA, por sector económico, y c) cuentas de actividades ambientales. La información fue descargada y ordenada como series de tiempo para el periodo 2003-2022.

La información estadística referida anteriormente fue analizada en una hoja de cálculo. Las estadísticas para la actividad económica fueron a dos dígitos; es decir, a nivel sector (11 = primario; 21 = minería; 22 = agua, energía y gas; 23 = construcción; 31-33 = manufactura; 43-46 = comercio y otros servicios y 48-49 = transporte, correos y almacenamiento). Sobre el PINE, se descargaron las series correspondientes a los costos de agotamiento y degradación ambiental (CTADA); de igual modo, se obtuvo la información sobre las emisiones contaminantes al aire y del índice de producción (crecimiento económico o PIB) de la misma página del INEGI. Reuniendo lo anterior, se estimó la elasticidad de desacoplamiento que se denota como e que relaciona el índice del PIB y el índice de las emisiones contaminantes al aire para el periodo 2003-2022, que se analiza de manera descriptiva y analítica.¹

La relación esperada (persistente) es que exista desacoplamiento; es decir, que el *índice* del PIB (crecimiento económico) sea mayor al *índice* de emisiones contaminantes al aire, lo cual

1 La información de las cuentas económicas y ecológicas se presenta a precios de mercado por lo que el efecto inflacionario está presente. Por tal motivo a la información expresada a precios corrientes se le aplicó el deflactor provisto por el propio INEGI para estimarlos en términos reales o constantes año base 2018.

implica que el crecimiento porcentual del cambio interanual del PIB sea mayor al incremento porcentual del cambio interanual de las emisiones al aire. En caso contrario, si existiera acoplamiento se interpretaría como una situación desfavorable para la sociedad mexicana, pues implica un cambio interanual mayor de las emisiones al aire que el cambio porcentual interanual del PIB. El análisis de desacoplamiento o acoplamiento se realiza en un periodo de tiempo determinado (interanual) desde 2003 hasta 2022, expresado de acuerdo con la siguiente ecuación (método Tapio):

$$e = \frac{\Delta\%EMISIONES}{\Delta\%PIB}$$

donde el numerador $\Delta\%EMISIONES$ es igual a $(EMISIONES_t) - (EMISIONES_{t-1}) / (EMISIONES_{t-1})$ que representa el cambio porcentual de las emisiones entre un periodo y el anterior; por su parte, el denominador $\Delta\%PIB$ es igual a $(PIB_t) - (PIB_{t-1}) / (PIB_{t-1})$ representa de igual modo, el cambio porcentual del valor del PIB entre un periodo actual y su periodo anterior (interanual). Otro componente de la ecuación es e , la cual representa la elasticidad. El subíndice t representa el tiempo actual (año 2017, por ejemplo) y $t-1$ representa el tiempo rezagado (año 2016, en su caso).

Así, Lin et al. (2015) indican que dependiendo del resultado de la elasticidad (e), existen ocho posibilidades del índice de desacoplamiento, siendo dos opciones generales: acoplamiento y desacoplamiento, ya sea positivo o negativo. Este es el criterio de interpretación para cada periodo interanual para la serie de tiempo estudiada (tabla 2).

Considerando la elasticidad obtenida (e) de desacoplamiento para cada periodo en el tiempo estudiado, se analizan los resultados y se relacionan con el PINE, los costos ambientales (de degradación y de agotamiento-CTADA), así como con las actividades económicas a nivel de dos dígitos. También el resultado de la elasticidad e se relaciona con los principales indicadores ambientales como el PINE/PIB y el CTADA de emisiones al aire/PIB.

Tabla 2

Posibilidades de la elasticidad de desacoplamiento

Valor de la elasticidad e	Supuesto	Posibilidades de desacoplamiento
$0.0 < e \leq 0.8$	Crece el Δ % EMISIONES y crece el Δ % PIB	Desacoplamiento positivo débil
$0.0 < e \leq 0.8$	Decrece el Δ % EMISIONES y decrece el Δ % PIB	Desacoplamiento negativo débil
$e \leq 0.0$	Decrece el Δ % EMISIONES y crece el Δ % PIB	Desacoplamiento positivo fuerte
$e \leq 0.0$	Crece el Δ % EMISIONES y decrece el Δ % PIB	Desacoplamiento negativo fuerte
$e > 1.2$	Crece el Δ % EMISIONES y crece el Δ % PIB	Desacoplamiento negativo expansivo
$e > 1.2$	Decrece el Δ % EMISIONES y decrece el Δ % PIB	Desacoplamiento recesivo
$0.8 < e \leq 1.2$	Crece el Δ % EMISIONES y crece el Δ % PIB	Acoplamiento expansivo
$0.8 < e \leq 1.2$	Decrece el Δ % EMISIONES y decrece el Δ % PIB	Acoplamiento recesivo

Fuente: Lin, Beidari y Lewis (2015), Muñoz (2018).

Resultados

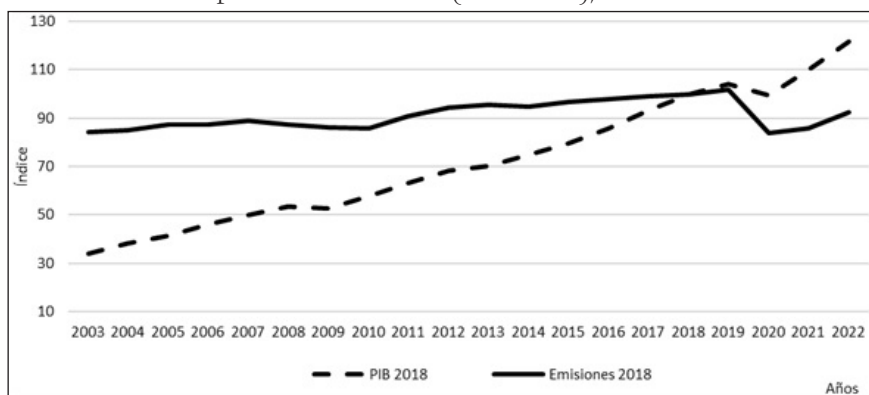
La elasticidad de desacoplamiento

El valor monetario de la actividad productiva realizada en un año determinado se expresa a través del PIB y hace referencia al crecimiento económico (producción), y se espera que cuando haya incrementos en la producción conlleven a mayores emisiones contaminantes impulsadas por el uso de recursos naturales, ya sea renovables o no renovables. En este sentido, la figura 1 muestra la evolución del índice del PIB y el índice de las emisiones al aire provocado por las actividades económicas mexicanas, ambos expresados en términos reales (año base 2018).

Usando este año de referencia, se observa que el índice del PIB es creciente mientras que el índice de emisiones contaminantes al aire se mantiene durante el tiempo y en el año 2018, que se

toma como año base, decrece. Considerando este hecho, se observa que, para este periodo, la economía mexicana muestra indicios de un desacoplamiento de las actividades productivas y las emisiones al aire, pues ambos índices aumentan, pero de la producción (PIB) aumenta más que el índice de las emisiones; es decir, conforme pasa el tiempo (desde 2003) se producen más bienes y servicios, pero con menores emisiones contaminantes al aire. En este sentido, la figura 1 muestra el indicio de desacoplamiento en México; es decir, un distanciamiento entre ambos índices que se hace evidente a partir de 2019, pues ante un aumento del valor de la producción expresado por el índice del PIB se produce una disminución del índice de las emisiones contaminantes al aire; lo que quiere decir que, a mayor producción o crecimiento económico, no necesariamente se producen más emisiones contaminantes al aire en México.

Figura 1
El índice del PIB y de emisiones al aire
a precios reales 2018 (2003-2022), México



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2024).

Si se hace el mismo ejercicio anterior, pero usando de base 2003 (año de origen de la serie), el resultado indica que el índice del PIB o producción nacional es mayor y creciente, mientras que las emisiones al aire se mantienen relativamente constantes con una ligera disminución en 2019. Por tanto, independientemente al año base del índice considerado, es evidente que el índice de emisiones al

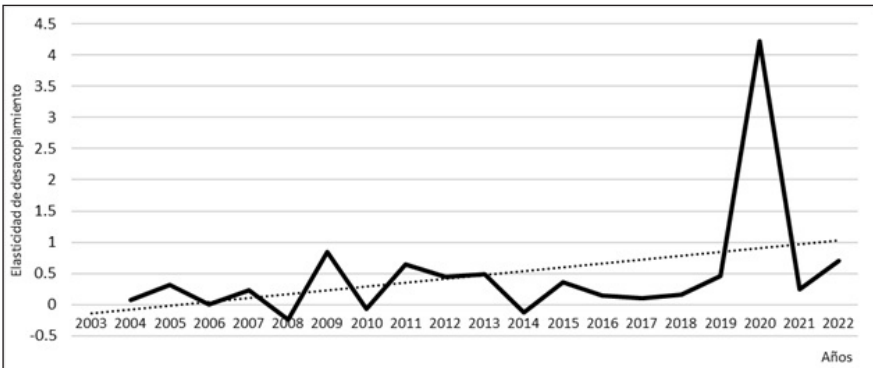
aire ha decrecido en los años más recientes. Este resultado inicial para el periodo 2003-2022 es favorable para la sociedad mexicana, pues normalmente ante tasas de crecimiento positivas del PIB se esperarían mayores tasas de crecimiento de las emisiones contaminantes al aire, tal como sucede en países latinoamericanos con altos niveles de producción, como Brasil o Colombia (Muñoz, 2018).

Con estos resultados de partida se evidencia la existencia de desacoplamiento entre la producción nacional y las emisiones contaminantes al aire; sin embargo, es necesario averiguar de qué tipo son ante diversas posibilidades, como se observó en la tabla 2. Por tanto, una vez descrita la relación entre la producción y las emisiones contaminantes al aire, se construye y analiza la elasticidad de desacoplamiento de manera interanual, de acuerdo con el método que se propone en Lin, Beidari y Lewis (2015) y Tapio (2005).

En este sentido, la figura 2 muestra los resultados calculados e indican la elasticidad de desacoplamiento para el periodo 2003-2022. Se observa una tendencia creciente de acuerdo con la línea punteada que surge del año de origen (2003) hasta 2022. Esto es, aunque presenta altibajos durante el periodo de estudio, en general se puede indicar el predominio del desacoplamiento positivo débil, es decir que el valor de la elasticidad se ubica entre 0.0 y 0.8 ($0.0 < e \leq 0.8$), que implica aumentos en la producción (PIB) y de las emisiones contaminantes al aire.

Figura 2

Elasticidades de desacoplamiento para México (2003-2022). Año base: 2018



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2024).

Las únicas excepciones de la serie analizada es la existencia de la elasticidad negativa en los años 2008, 2010 y 2014 (-0.236 , -0.063 y -0.118 , respectivamente) que concuerda con subidas drásticas en la producción nacional junto con una baja en las emisiones contaminantes al aire, que representan desacoplamientos positivos fuertes ($e \leq 0.0$); también se observa un desacoplamiento negativo fuerte para 2009 ($0.0 < e \leq 0.8$) pues decrece tanto la producción como las emisiones contaminantes al aire.

En la figura 2 se observa un pico positivo más alto que se alcanzó en 2020 ($e = 4.224$), y que representa un desacoplamiento recesivo ($1.2 > e$), pues el cambio porcentual de la producción nacional interanual y las emisiones contaminantes al aire de ese año decrecieron mutuamente, lo que concuerda con los cierres de numerosos negocios no prioritarios de la economía ante la presencia de la pandemia causada por el covid-19.

Es importante mencionar que dicha pandemia, cuyo impacto en la reducción de las actividades productivas no prioritarias se dio en 2020 y provocó un desacoplamiento anormal ($e = 4.224$), propio de la reducción considerable de la producción y de las emisiones al aire. En este caso, según el método de Tapio (2005), el resultado fue un desacoplamiento recesivo ($e > 1.2$), que concuerda con las disminuciones drásticas en las emisiones contaminantes al aire, visibles en grandes ciudades —como Ciudad de México— y a nivel mundial. Ante la reapertura comercial y la eliminación de las restricciones a la actividad productiva, esta elasticidad anormal se desvaneció para prevalecer el desacoplamiento negativo débil hasta 2022.

Por tanto, desagregando anualmente los resultados de las elasticidades del desacoplamiento para México presentados en la tabla 3, se observa que existe una predominancia del desacoplamiento positivo, débil para el periodo 2003-2020 ($0.0 < e \leq 0.8$), salvo en los años 2008, 2010 y 2014 con desacoplamiento positivos fuertes ($e \leq 0$), y para 2020 desacoplamiento recesivo que fue un caso especial, ya que la reducción en la producción nacional por las restricciones de movilidad impactó para que el resultado de la elasticidad de desacoplamiento sea 4.224 ($e > 1.2$) lo cual representa un desacoplamiento recesivo. Con la reapertura de las actividades económicas en 2021, el resultado fue de nuevo un desacoplamiento positivo débil.

Tabla 3
Elasticidades de desacoplamiento para México,
diagnóstico y tipo (2003-2022)

Año	Elasticidad	Clasificación Tapio	Diagnóstico	Tipo
2003*	—	—	—	—
2004	0.070	$0.0 < e \leq 0.8$	Crece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece el $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo débil
2005	0.311	$0.0 < e \leq 0.8$		
2006	0.007	$0.0 < e \leq 0.8$		
2007	0.225	$0.0 < e \leq 0.8$		
2008	-0.236	$e \leq 0.0$	Decrece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece el $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo fuerte
2009	0.848	$0.0 < e \leq 0.8$		Desacoplamiento negativo débil
2010	-0.063	$e \leq 0.0$		Desacoplamiento positivo fuerte
2011	0.642	$0.0 < e \leq 0.8$	Crece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo débil
2012	0.444	$0.0 < e \leq 0.8$		
2013	0.495	$0.0 < e \leq 0.8$		
2014	-0.118	$e \leq 0.0$	Decrece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo fuerte
2015	0.366	$0.0 < e \leq 0.8$	Crece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo débil
2016	0.150	$0.0 < e \leq 0.8$		
2017	0.108	$0.0 < e \leq 0.8$		
2018	0.156	$0.0 < e \leq 0.8$		
2019	0.465	$0.0 < e \leq 0.8$		
2020	4.224	$e > 1.2$	Decrece el $\Delta\%$ EMISIONES y decrece el $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento recesivo
2021	0.247	$0.0 < e \leq 0.8$	Crece el $\Delta\%$ EMISIONES y crece $\Delta\%$ PIB	Desacoplamiento positivo débil
2022	0.705	$0.0 < e \leq 0.8$		

*Carece de información por ser el año inicial.

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2024).

Por tanto, tomando en consideración de los resultados generales de la tabla 3, se afirma que para México prevalece el desacoplamiento positivo débil para 14 años de la serie analizada, lo que

representa 74 % de los casos. Para el segundo lugar, el desacoplamiento positivo fuerte estuvo presente en tres años, representando 16 %; mientras que el porcentaje restante correspondió a dos años de la serie, con desacoplamiento negativo débil y el recesivo.

Como se visualiza en la tabla 3, el desacoplamiento positivo débil implica el crecimiento porcentual de las emisiones contaminantes al aire y, de igual modo, un crecimiento porcentual de la producción nacional, pero a pesar de que ambos crecen, se dice que es *débil* porque las emisiones crecen en menor proporción a la producción, lo cual es una noticia favorable para México.

Aparte de la interpretación anterior, si se considera el tipo de elasticidad más sobresaliente se observa que fue el tipo inelástico (e menor a 1) para 18 años de la serie analizada y solamente un resultado fue elástico (e mayor a 1). Interpretar los resultados en términos de elasticidad se puede hacer para cada caso; sin embargo, para fines generales se establece un ejemplo, pues indica sensibilidad ante cambios en la producción (PIB) y emisiones al aire. Para el primer caso más frecuente, el desacoplamiento positivo débil, se toma el resultado de 2007, que fue de $e = 0.225$, y según este resultado se puede interpretar en términos de elasticidad de la siguiente manera: ante un incremento de 1 % del valor de la producción nacional (crecimiento económico o el PIB), las emisiones contaminantes al aire aumentarán 0.225 %; es decir, ambos se incrementan, pero la magnitud del crecimiento de la producción es mayor que las emisiones. En este sentido, el resultado es positivo para la sociedad mexicana, aunque no suficiente para considerarlo como adecuado, pues hay poca sensibilidad entre producción y emisiones. A pesar de ello, es un resultado beneficioso para México.

Otro resultado interesante de inelasticidad se dio para los años 2008, 2010 y 2014, pero con signo negativo (desacoplamiento positivo fuerte). Se toma el caso de 2014, cuyo resultado es de $e = -0.118$ y se interpreta de la siguiente manera: ante un incremento de 1 % del valor de la producción nacional (crecimiento económico), las emisiones contaminantes al aire disminuyen 0.118 %; es decir, ambos muestran un sentido inverso; mientras se incrementa la producción, disminuyen las emisiones, lo cual es benéfico para la sociedad mexicana. En este sentido, el incremento de la producción

es positivo y para el ambiente el impacto es fuerte; sin embargo, este tipo de elasticidad se dio solamente para tres periodos.

Así, se puede interpretar que el desacoplamiento positivo débil y fuerte presentan elasticidad inelástica (menor sensibilidad de las emisiones ante cambios en el valor de la producción) pero para el desacoplamiento positivo fuerte tiene mayor impacto positivo, pues se reducen las emisiones contaminantes en términos relativos. A pesar de la poca sensibilidad, se concluye que son resultados benéficos para México.

El caso de 2009 presentó un desacoplamiento negativo débil, con 0.848 (inelástico, por ser menor a 1), y se cataloga de esta manera porque se acerca a un tipo de elasticidad unitaria, en la cual la magnitud entre el cambio de la producción es cercana al cambio en las emisiones; no impacta significativamente para la sociedad y economía de México (relación 1/1).

Un caso fuera de lo normal se dio en 2020, la pandemia por covid-19 obligó a cerrar muchas actividades productivas no esenciales, lo cual provocó una disminución significativa de la producción y, por tanto, en las emisiones contaminantes al aire. En este sentido, el resultado de la elasticidad para este año fue de 4.224, que corresponde a la categoría elástico (e mayor a 1) y que se interpreta de esta manera: ante un incremento de 1 % en el PIB o crecimiento económico de México, las emisiones contaminantes del aire aumentarían 4.224 %. Este resultado es atípico del país y no puede entenderse sino por los efectos de la pandemia que afectó al país. Esta elasticidad del tipo elástico puede interpretarse que las emisiones al aire eran altamente sensibles a las variaciones de la producción nacional. En este sentido, el resultado de desacoplamiento expansivo indica que, durante 2020, el efecto de un incremento porcentual en las actividades productivas impactaría significativamente en las emisiones al aire. Este resultado tiene sentido cuando México estaba con poca afectación al aire y la activación productiva impactaría sensiblemente a las emisiones, incrementándolo en gran manera.

Tomando en cuenta los resultados presentados, se plantea la pregunta del por qué prevalece el desacoplamiento positivo débil en la economía mexicana seguido por el desacoplamiento

positivo fuerte (74 y 16 %, respectivamente); es una elasticidad de tipo inelástica o poco sensible a los cambios porcentuales entre producción y emisiones. Para ayudar a responder esta pregunta, se analizan algunas variables de las cuentas económicas y ecológicas y del Inegycei.

Costo total de agotamiento y degradación ambiental (CTADA)

El *costo de agotamiento* hace referencia al valor estimado de la extinción de recursos naturales no renovables, como el combustible (al quemarse no se puede recuperar); mientras que los *costos de degradación* se relacionan con el valor estimado de los recursos naturales renovables como lo forestal (al quemarse puede retoñar). La suma de ambos costos se denomina costo total de agotamiento y degradación (CTADA).

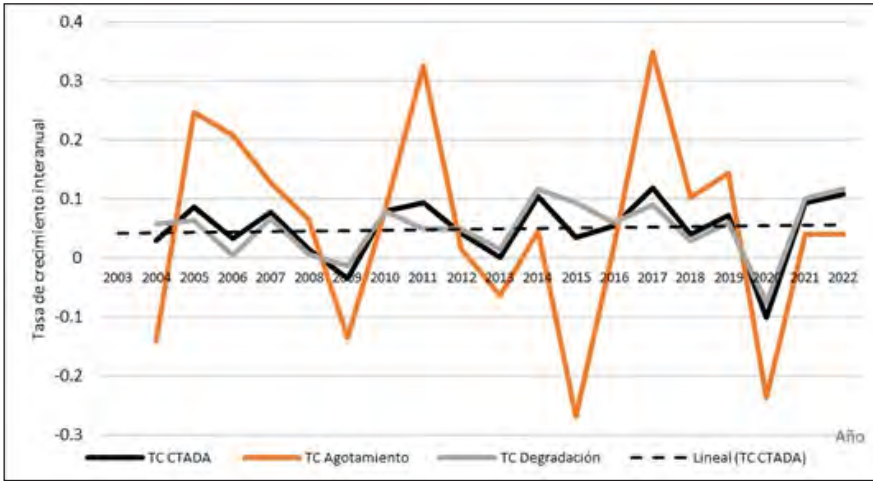
La relación de estos costos ambientales con las elasticidades de desacoplamiento es directo o indirecto, pues, si aumentan significativamente, implica que la afectación ambiental es creciente y por tanto el valor del agotamiento y degradación reduce el valor de la producción nacional expresado por el PINE.

Así, la figura 3 muestra el CTADA y sus componentes, el costo de agotamiento y degradación expresados en tasas de cambio; se observa que el CTADA presenta ligeros altibajos cuyo promedio de variaciones no supera el 5 % interanual para el periodo. Debido a que la tasa de cambio del CTADA está relacionado con las tasas de cambio de los costos de agotamiento y degradación, las mayores variaciones se dan con el costo de agotamiento, pero se compensan con las menores variaciones de las tasas de cambio de los costos de agotamiento; de modo que, el CTADA presenta menores variaciones (línea negra), ligeramente creciente (entre 0 y 0.1).

Esto ayuda a explicar el resultado de la elasticidad del periodo 2003-2022 que, en su mayoría, se identificó como desacoplamiento positivo débil. En este caso se observa que las tasas de cambio del CTADA crecen, pero no significativamente, lo que se interpreta que directa o indirectamente contribuye al predominio de este tipo de elasticidad, pues no muestra evidencia que la afectación ambiental expresado por el valor no crece significativamente dentro del periodo 2003-2022, lo cual contribuye a los resultados.

Figura 3

Evolución de la tasa de cambio interanual (TC) del CTADA, tasas de cambio del costo de agotamiento y degradación en México, 2003-2020



TC= Tasa de cambio.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2024).

De igual modo, la figura 3 muestra que la crisis económica que afectó a México en 2007-2009 y luego en 2014-2015 impactó a la tasa de cambio del CTADA, pues decreció en ese periodo, lo cual indica una relación positiva entre la producción y las emisiones contaminantes. Este hecho coincidió con el desacoplamiento positivo fuerte que se obtuvo. En ambos casos, fue la tasa de cambio del costo de agotamiento la que impulsó esta disminución (como el uso de combustibles derivados del petróleo).

Para 2019-2020 se dio de nuevo una disminución del CTADA, pues la tasa de cambio del costo de agotamiento decreció significativamente. En este sentido, la contracción económica provocada por las medidas sanitarias tomadas por la pandemia covid-19 llevó a una disminución de la tasa de cambio del costo de agotamiento, que fue el costo de afectación ambiental más importante. Este resultado se relaciona con el desacoplamiento recesivo obtenido en la elasticidad de las emisiones y produjo un impacto positivo en el ambiente a pesar de la caída en la producción nacional.

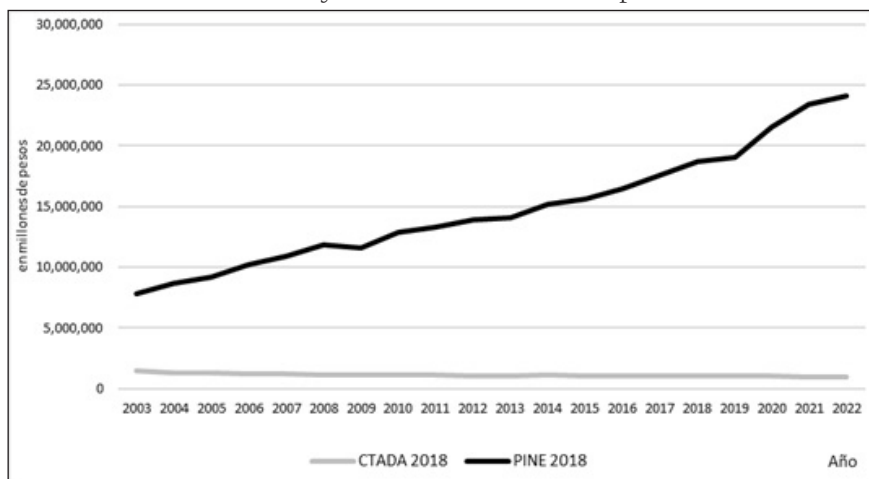
El desacoplamiento y las actividades económicas del PINE

Descrita la relación entre el CTADA y los resultados de la elasticidad de desacoplamiento, se analizan las actividades productivas del PINE a nivel sector; es decir, a dos dígitos según la clasificación usada por el INEGI. El PINE representa la producción nacional eliminando el impacto ambiental que causa la realización de las actividades productivas; esto es, la resta de los CTADA al PIN. En este sentido, se calculan las tasas de crecimiento interanual (2003-2022) para el PINE del sector 11 (agropecuaria, forestal y pesca), sector 21 (minería), sector 22 (generación de electricidad, agua y gas), sector 23 (construcción), sector 31-33 (industria de manufacturas), sector 43-46 (comercio y otros servicios) y sector 48 (transportes y correos), los cuales pueden producir emisiones al aire.

Así, la figura 4 muestra que el PINE es creciente en términos reales (base 2018), lo cual refleja que el impacto ambiental en la realización de las actividades productivas (CTADA) no aumenta significativamente; de hecho, desde 2020 la pandemia covid-19 provocó caídas drásticas en las actividades productivas, reflejando en un incremento del PINE que implica menos afectación ambiental.

Figura 4

Relación entre el PINE y el CTADA 2003-2022 a precios reales 2018



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2024).

Si se toman en cuenta los sectores productivos del PINE (tabla 4), en general, el promedio de la tasa de cambio para los sectores fue positivo, siendo el más alto el sector 21 (minería), donde se encuentra la actividad que más emisiones al aire provoca. Este sector incluye la extracción de petróleo, lo cual en su proceso productivo puede ser altamente contaminante; sin embargo, muestra la tasa de cambio interanual promedio más alta. Esto se puede traducir en un esfuerzo importante para reducir los contaminantes, incluidas las emisiones al aire, por parte de Petróleos Mexicanos (PEMEX).

Tabla 4

Tasas de cambio interanual del PINE para sectores productivos elegidos (2003-2020 a precios reales 2018), México

	Sector 11	Sector 21	Sector 22	Sector 23	Sector 31-33	Sector 43-46	Sector 48-49
Promedio	0.087	0.199	0.088	0.059	0.069	0.059	0.068
Mínimo	-0.061	-0.875	-0.088	-0.078	-0.045	-0.078	-0.193
Máximo	0.240	1.956	0.614	0.109	0.269	0.109	0.257

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2024).

El segundo sector importante por su mayor tasa de cambio interanual como promedio es el 22, que hace referencia a la producción, generación de energía y agua, entre otros. Dentro de estas actividades productivas se incluye la generación de energía eléctrica que tradicionalmente al usar fuentes fósiles de combustión provoca altas emisiones; sin embargo, de acuerdo a estos resultados, su participación en el PIBE ocupa uno de los sectores que ha mejorado su tasa de cambio. Esto se traduce a que ya se interconecta energía eléctrica generada por fuentes más amigables al ambiente (solar, eólica o agua, por citar algunas). En este caso, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) está incluida en este sector.

Ante esto surge la pregunta ¿qué regulaciones ambientales procura PEMEX y CFE? Con relación a PEMEX (sector 21), esta empresa productiva mexicana está sujeta a muchas regulaciones y reglamentos a favor de la reducción de contaminantes, para un impacto ambiental mínimo en sus operaciones y así contribuir en la sustentabilidad; entre las regulaciones federales que aplican son, por mencionar algunas, la Ley General de Cambio Climático, Nor-

mas Oficiales Mexicanas y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA); también aplican regulaciones internas, como el Plan de Sostenibilidad, Estrategia de Protección Ambiental y Auditorías Ambientales, entre otras. Esto obliga a la empresa a poner como objetivo principal la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de CO₂. Así, PEMEX, como empresa pública está sujeta a la legislación ambiental mexicana y se rige por principios para mejorar sus políticas ambientales (PEMEX, 2024).

Por parte de la CFE, tiene las mismas obligaciones que PEMEX, por ser una empresa pública, en toda su cadena de proceso productivo (generación, transmisión, distribución de energía eléctrica), incluyendo el control de emisiones a la atmósfera al cumplir con los límites máximos permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) (CFE, 2024).

Estos resultados por sectores muestran que a pesar de las afectaciones ambientales expresadas por las tasas de crecimiento (tabla 4), el valor de la producción ecológica expresado por el PINE es importante, al menos para los dos sectores productivos que han mostrado mayor tasa de crecimiento del PINE (figura 4).

Por tanto, estos resultados apoyan el predominio del desacoplamiento positivo débil y fuerte, en cuanto se muestra que las afectaciones ambientales tienen repercusiones o afectaciones no severas en el ambiente cuando se realizan las actividades productivas (PIB o crecimiento económico de México).

Los CTADA de las emisiones al aire y el PIB

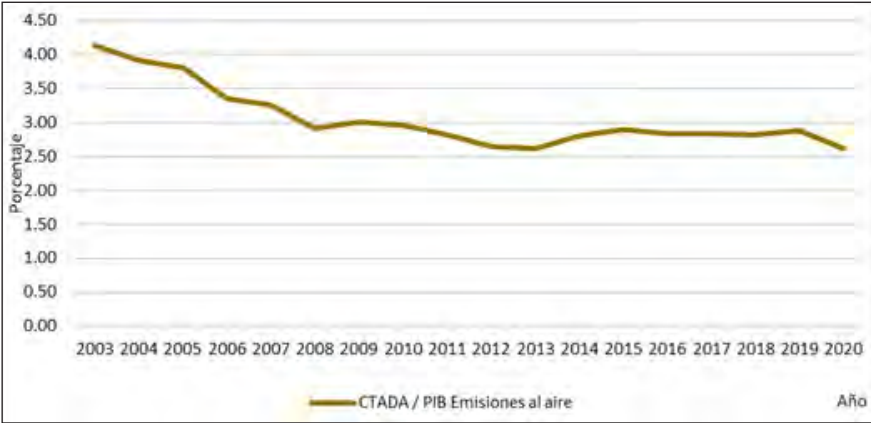
Sobre la evolución del indicador CTADA de las emisiones al aire y la producción (CTADA de emisiones/PIB), este es decreciente para el periodo de estudio y se presentan tres periodos observables: el primero con 4 % en 2003; el segundo corresponde al periodo 2004-2009, que se ubica en promedio en 3 %; por último, a 2 % en promedio para el periodo 2010-2020 (figura 5).

El indicador puede interpretarse como: si el costo total de agotamiento y degradación (CTADA de las emisiones al aire) entre el PIB, disminuye, entonces indica que la contribución de este tipo de CTADA disminuye con respecto al PIB (producción); de modo que contribuye a una mayor presencia del desacoplamiento positivo

débil y, en segundo lugar, el desacoplamiento positivo fuerte, pues implica que se usan relativamente menores recursos naturales para producir bienes y servicios que afectan las emisiones al aire.

Figura 5

El indicador CTADA de las emisiones al aire y el PIB (2003-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2022).

Principales gases y compuestos emitidos al aire y el desacoplamiento en México

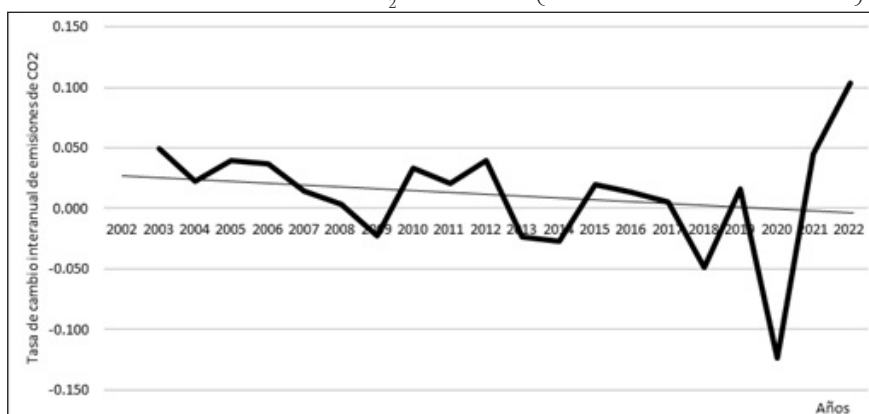
Una de las fuentes más importantes para conocer las emisiones contaminantes de México es el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero* (INEGYCEI, 2024), en la cual se reportan las cantidades de emisiones contaminantes. En esta fuente se desagregan los gases emitidos más importantes que afectan al medio ambiente y al cambio climático por su potencial de impactar en el calentamiento del planeta tierra. El gas más emitido es el dióxido de carbono (CO_2), que representa alrededor de 64 %; seguido por el metano (CH_4) en 28 %; y por último el óxido nitroso (N_2O). Hay otros gases como los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), trifluoruro de nitrógeno (NF_3) y hexafluoruro de azufre (SF_6), pero para fines generales se concentran en los tres más importantes.

Dióxido de carbono (CO_2). Es la emisión al aire más significativa en México, aunque los montos emitidos hasta el año 2020 han decrecido en términos absolutos (megatoneladas) para luego vol-

ver a incrementarse hasta 2023, la cual es similar al monto emitido en 2014. En la figura 6 se muestra la evolución en términos de tasas de cambio interanual de CO_2 y se infiere en general que su tendencia ha sido decreciente, aunque luego de la pandemia covid-19 la tasa de crecimiento aceleró las emisiones una vez terminado el confinamiento. Esta tendencia decreciente de la emisión al aire más importante en México ayuda a entender el predominio el desacoplamiento positivo débil y luego el fuerte.

Figura 6

Evolución de emisiones de CO_2 en México (tasa de cambio interanual)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGYCEI (2024).

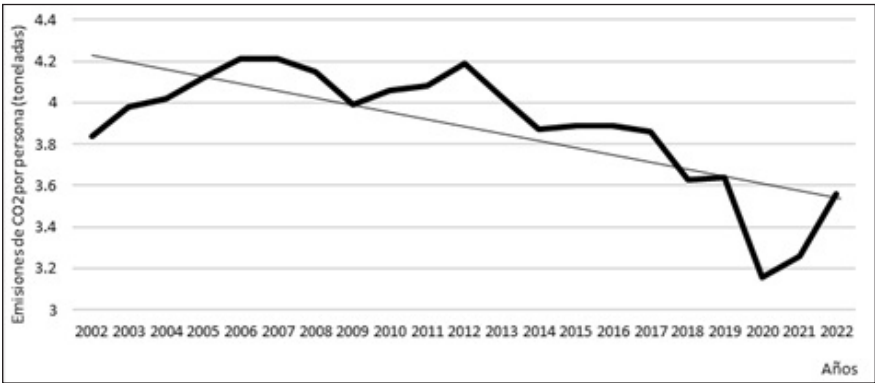
Sobre la evolución de las emisiones en toneladas de CO_2 por persona, la figura 7 muestra una disminución durante el periodo de análisis (tendencia), aunque a partir de 2020 se tiene un incremento que pasa de 3.2 a 3.6 toneladas por persona, coincidiendo con los resultados de la figura 5 y concuerdan con el predominio del desacoplamiento positivo débil: el porcentaje de cambio de emisiones y del PIB crecen, pero más el del PIB, y el desacoplamiento positivo fuerte: decrece el cambio porcentual de las emisiones y crece el cambio porcentual del PIB. En estos casos, el medio ambiente se beneficia de estos resultados para el caso de México.

Metano (CH_4). Es la segunda fuente más importante de emisiones al aire en México. Para este tipo de emisión, durante el periodo de análisis, el monto absoluto mínimo (2002) fue de alrededor de

140,000 megatoneladas y el máximo de 180,000 megatoneladas (2008), lo cual fue creciente. Solamente en la pandemia 2020 tuvo un decremento. Para 2021 de nuevo crece; sin embargo, en términos de tasas de cambio interanual, en la figura 8 se observa que es ligeramente decreciente, y para 2020 decreció aún más. En general, la línea de tendencia para la tasa de cambio interanual es decreciente. La evolución estaría estable para el periodo 2002-2020 en alrededor del 0.013. Ante la apertura de las actividades productivas, luego de 2020, la tasa de cambio se elevó significativamente.

Figura 7

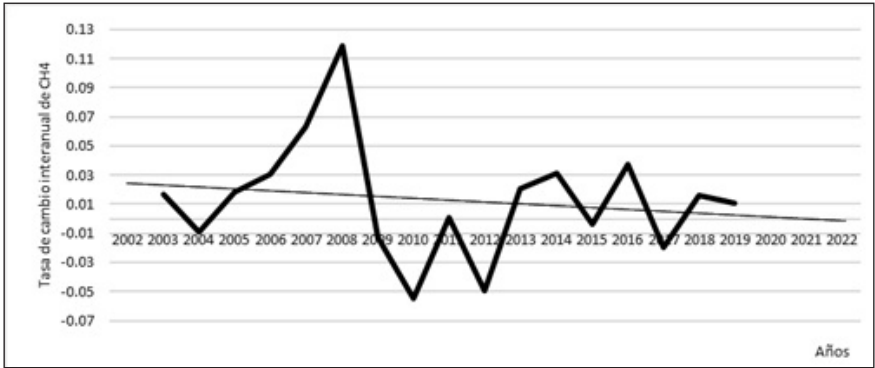
Evolución de emisiones de CO₂ por persona en México (2002-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGYCEI (2024).

Figura 8

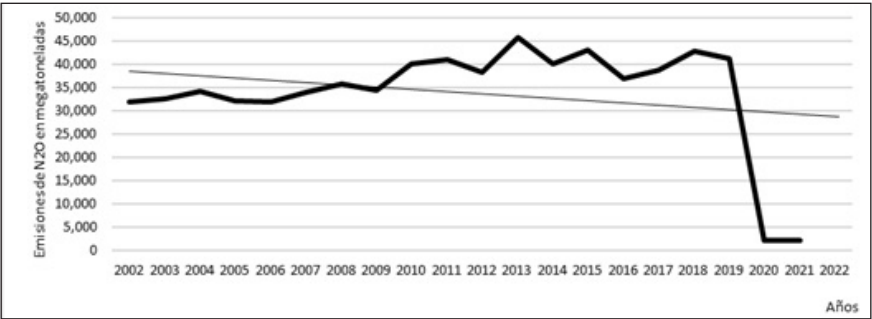
Evolución de emisiones de CH₄ en México (tasa de cambio interanual)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGYCEI (2024).

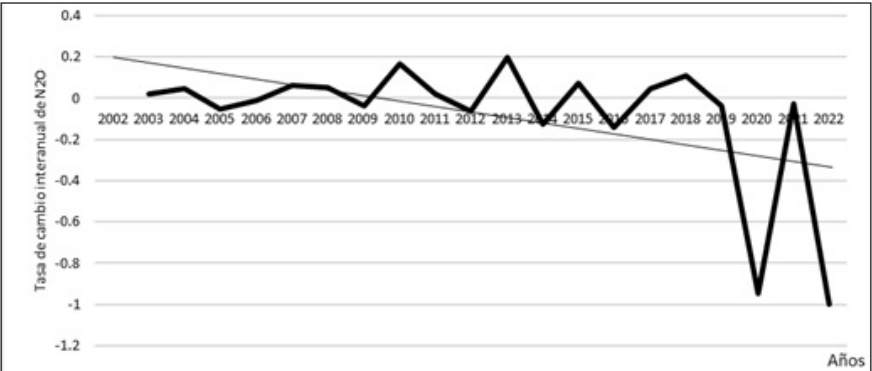
Óxido nítrico (N_2O). Es la tercera emisión de gas más importante en México por los montos en megatoneladas emitidas al aire. Como las otras emisiones anteriores, todas estas contribuyen al cambio climático mundial. Para el caso de México se observa una evolución decreciente en términos absolutos (figura 9), pero si se eliminan las emisiones por la disminución de 2020, la tendencia se convierte en creciente; sin embargo, cuando se grafica en tasas de cambio (figura 10) es clara la tendencia decreciente.

Figura 9
Evolución de emisiones de N_2O en México (2002-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGYCEI (2024).

Figura 10
Evolución de la tasa de cambio interanual de las emisiones de N_2O en México (2002-2022)



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGYCEI (2024).

Como se observa en la evolución de las tres emisiones al aire más importantes, en términos absolutos, la principal emisión de CO_2 presenta tendencia decreciente, el CH_4 es ligeramente decreciente, mientras que el N_2O es creciente en términos absolutos, pero en tasas de cambio se vuelve decreciente. Estos resultados, ayudan a entender el predominio del desacoplamiento positivo débil y, en segundo lugar, el fuerte.

Conclusiones

El proceso productivo requiere el uso de recursos naturales, lo que provoca una afectación ambiental, no sólo por los residuos que genera, sino también por las emisiones contaminantes al aire (Ibarra, 2013). Esta situación de degradación y agotamiento ambiental se agrava cuando la naturaleza no puede absorber los contaminantes emitidos, de modo que existe una relación estrecha y directa entre la actividad productiva, los recursos naturales y el medio ambiente.

En este sentido, el análisis del desacoplamiento entre la producción nacional (crecimiento económico) y las emisiones contaminantes al aire son importantes. Esta relación estrecha se ejemplifica con Mauerhofer (2013), quien muestra cómo Estados Unidos está lejos de la sustentabilidad ambiental y concluye que hay un incremento en la competencia sobre los recursos naturales. De igual modo, el trabajo de Xue (2012) muestra que para la economía china existen impactos ambientales entre la producción de bienes y servicios, específicamente en la construcción de viviendas y que estudiar esta relación es útil, sobre todo para su enorme economía.

Los ejemplos anteriores para las principales economías del mundo muestran la importancia de analizar la relación entre producción y ambiente; por tanto, el análisis del desacoplamiento permitió comparar el desempeño de las actividades productivas y su relación con el ambiente. Se analizó tal relación entre la evolución de la elasticidad de desacoplamiento, el índice de las actividades productivas y el índice de las emisiones contaminantes al aire de México de 2003 a 2022.

Se postuló que, para el periodo de análisis, la tasa de cambio interanual de las emisiones contaminantes al aire ha incrementado, pero a una tasa menor que la de cambio de la producción (PIB);

por tanto, existe el predominio de un desacoplamiento positivo débil en México, lo cual evidencia que las políticas para el cuidado del medio ambiente tienen un impacto positivo para la economía nacional, aunque no de manera significativa, de allí del desacoplamiento positivo débil. Sólo en algunos casos fue desacoplamiento positivo fuerte, donde aumenta la tasa de cambio interanual de la producción mientras disminuye la tasa de emisiones.

En catorce años predominó el *desacoplamiento positivo débil* con una elasticidad (e) ubicada entre $0.0 < e \leq 0.8$, indicando que el crecimiento de las emisiones contaminantes al aire fue ligeramente menor al crecimiento de la producción. Para tres años se dio el *desacoplamiento positivo fuerte* cuando las tasas de cambio de las emisiones al aire disminuyeron en mayor proporción que de la producción, el escenario más benéfico para la sociedad. Estos dos resultados fueron los que predominaron.

Para averiguar los posibles factores que llevaron a estos resultados, se analizaron las cuentas económicas y ecológicas del INEGI, incluyendo indicadores relacionados con el PINE y estadísticas del Inegyci. Entre los resultados más importantes, se concluyó que los CTADA, cuando se comparan en términos relativos como tasas de crecimiento, se mantienen relativamente constantes (a pesar de altibajos) para el periodo 2003-2022. Esto es importante debido a que la producción en términos reales se incrementa más que las emisiones, si se toma como año base 2018.

Por su parte, el PINE permite mostrar el costo económico que se tendría que asumir por los daños ambientales, y así derivado de la actividad económica y de su relación estrecha con el uso de los recursos naturales (INEGI, 2022). El trabajo mostró que es creciente en términos reales, mientras el CTADA se mantiene ligeramente constante. Esto se puede explicar, pues, a medida que las mejoras tecnológicas se implementan en los procesos productivos, empieza la disociación entre las actividades económicas y las necesidades por los recursos naturales.

También se analizaron los tres emisores al aire más importantes y se mostró que CO_2 es decreciente por el monto emitido. Todos estos hallazgos contribuyeron a explicar el porqué del predominio del desacoplamiento positivo débil y fuerte. Para reforzar los resultados

del trabajo, INEGI (2022, 2023) indica que en México hay evidencia de un desacoplamiento positivo (débil y fuerte) entre la evolución de la economía con relación al deterioro ambiental; es decir, la dependencia del uso de recursos naturales para la producción de bienes y servicios, y como consecuencia la afectación ambiental, disminuye ligeramente con el tiempo. Solamente durante la pandemia por covid-19, en el año 2020, la afectación ambiental —incluyendo las emisiones contaminantes al aire—, fueron las más significativas, pero provocadas por la caída en la producción nacional ante el cierre de las actividades productivas.

Si los resultados de desacoplamiento se cotejan con los de Muñoz (2018), México presenta desacoplamiento fuerte para el periodo 2010-2014, indicando que las emisiones contaminantes fueron reducidas significativamente, mientras que el PIB creció. Sin embargo, si considera un periodo más amplio, 1990-2014, el resultado fue un desacoplamiento positivo débil, lo cual coincide con los resultados de esta investigación para un periodo más reciente. También los resultados de Muñoz (2018) coinciden con el desacoplamiento para el periodo 2009-2010, el cual fue positivo y fuerte; países como Argentina y Colombia tuvieron resultados similares que México para el periodo 1990-2014, sobresaliendo el desacoplamiento positivo débil; sin embargo, para Brasil se observó que resalta el desacoplamiento negativo expansivo ($e > 1.2$), en la cual crece la tasa de cambio porcentual de las emisiones, a la vez que crece la tasa de cambio porcentual del PIB; mientras que para Venezuela, en el mismo periodo, tuvo acoplamiento expansivo ($0.8 < e \leq 1.2$); es decir, crece la tasa de cambio porcentual de las emisiones a la vez que crece la tasa de cambio porcentual del PIB, lo cual es perjudicial para la sociedad venezolana y el mundo.

Haciendo una búsqueda para el caso de Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2024) muestra de 1990 a 2021 hay evidencia de una disminución de las emisiones, ligeramente crecientes desde 2015, y de 2001 a 2015 se mantuvieron las emisiones. Para Argentina, el Climate Transparency (2024) muestra los esfuerzos de dicho país para reducir las emisiones al aire; si bien existen resultados diversos, en general se presentan algunos resultados favorables para el desacoplamiento;

por ejemplo, se menciona una tendencia decreciente de emisiones de gases de efecto invernadero de -10.1 % entre 2014 y 2019, mientras que las emisiones de GEI de los países del G20 para ese mismo periodo disminuyeron en -1.7 %. Si se considera a México, de nuevo el Climate Transparency (2024) muestra que, entre 2014-2019, dicho país logra disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en -6.4 % mientras que el G20 disminuyó como se mencionó en -1.7 %.

Estos casos muestran que el resultado de México no necesariamente es igual para otras naciones, pero puede existir alguna coincidencia; por tanto, ¿qué implicaciones existen sobre los hallazgos encontrados sobre el desacoplamiento? Como se observó, el incremento de la producción de bienes y servicios provoca que las emisiones contaminantes aumenten, pero a menores tasas de crecimiento en ciertos años. Si bien estos resultados pueden ponerse en duda por esperar lo contrario, los hallazgos permiten concluir el predominio del desacoplamiento positivo débil, presente en la mayoría de los años analizados. Luego y no menos importante es la presencia del desacoplamiento positivo fuerte, un escenario más benéfico para la sociedad. Ambos, muestran cómo ha evolucionado la relación entre la producción y las emisiones contaminantes al aire.

Por tanto, considerando los resultados del análisis ¿Qué políticas de gobierno se han establecido que promuevan el desacoplamiento? Una de ellas es la Ley General de Cambio Climático, cuyo objetivo es elaborar y aplicar políticas públicas para la adaptación del cambio climático y la mitigación y regulación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero considerando las fuentes emisoras. Para hacer efectiva la política se creó el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. El artículo 26 de esta ley se relaciona directamente con el desacoplamiento, el punto cinco dice: “Adopción de patrones de producción y consumo por parte de los sectores público, social y privado para transitar hacia una economía de bajas emisiones en carbono” (DOF, 2012, p. 17).

Sobre algunos resultados de la implementación de dicha ley se menciona en (Huerta, 2022) que, si bien las emisiones como CO₂ han contribuido significativamente en México, se debe continuar con políticas de descarbonización. Algunos estados de México tienen acciones de mitigación mientras que muchos municipios ca-

recen de políticas sobre el tema. También se requiere monitorear y generar indicadores claros que den seguimiento de dicha ley. En el futuro se espera que se obedezca “hacer nuestras las leyes nos responsabiliza de acatarlas y hacerlas cumplir” (Soto, 2022, p. 48).

Como se observa, no hay políticas públicas que se relacionen directamente con el desacoplamiento, pero se hace de manera indirecta; sin embargo, queda claro que es una lucha mundial y no sólo de México. Por tanto, cumplir los Acuerdos de París establecidos en 2016 se requiere de todos los países y muchos ni siquiera han firmado los acuerdos, provocando un vacío legal. Así, para México, el INEGYCEI es una excelente iniciativa surgida en 2014 del gobierno mexicano para estimar los montos de emisiones al aire.

Para concluir, se proponen políticas públicas que mejoren el desacoplamiento positivo débil o fuerte fomentando una disminución de las emisiones contaminantes al aire. Así se recomienda:

- a) Fomentar la disminución de los costos de agotamiento y degradación ambiental de los sectores clave de la economía, principalmente minero y transportes, a través de incentivos que impliquen la adquisición de sensores de emisiones y la capacitación y concientización de los usuarios.
- b) Fomentar la necesidad de análisis de desacoplamiento en congresos académicos y en centros universitarios, ya que permite monitorear el desempeño de la economía nacional relacionando las actividades de producción y su impacto ambiental.
- c) A nivel nacional, presentar iniciativas para el control y reducción de emisiones y homologar su operación interna expresadas por las políticas públicas con el marco internacional. Para ello, involucrar toda la infraestructura operativa y estratégica; por ejemplo, la Estrategia Nacional de Cambio Climático 10-20-40, el Fondo para el Cambio Climático, y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Estas propuestas, si se adoptaran en México, permitirían monitorear el desempeño de las actividades productivas (crecimiento económico) y su impacto en el ambiente, en especial para las emisiones contaminantes al aire. Se propone monitorear las emisiones del sector transportes (sector 48 y 49), que abarca diversas actividades productivas que no fueron el de mejor desempeño del PIBE según los resultados. Hacer políticas públicas que refuercen la disminu-

ción de contaminantes al aire permitirán mejorar los resultados de desacoplamiento entre el PIB y las emisiones; de este modo, si se toman medidas para mitigar esta problemática, las generaciones futuras mexicanas serán menos afectados y el desarrollo sostenible dentro de la Agenda 2030 podrá ser logrado (ONU, 2024).

Referencias

- Aguilera, F. y Alcántara, V. (2011). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. ICARIA y FUHEM Ediciones. https://www.fuhem.es/media/ecosocial/File/Actualidad/2011/LibroEA_EE.pdf
- Bithas, K. y Kalimeris, P. (2017). The material intensity of growth: Implications from the humans scale of production. *Social Indicator Research*, 3(133); 1011-1029. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1401-7>
- CEPAL (2024). *Economía circular en América Latina y el Caribe. Oportunidad para una recuperación transformadora*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE) (2025). *Manual de organización de la gerencia de protección ambiental*. <https://potcorporativo.cfe.mx/art73/Funciones%20y%20responsabilidades/DCIPI/Manual%20de%20Organizaci%C3%B3/Manual%20GPA.pdf>
- Climate Transparency (2025). *Climate transparency report: Comparing G20 climate action. Argentina*. <https://i0.wp.com/www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2022/10/CT2022-Argentina.png?ssl=1>
- Da Costa, C. (2022). La economía circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, 35(1): 1-11. <https://doi.org/10.25097/rep.n35.2022.01>
- Derwent, H. y Blachowicz, A. (2015a). Can green growth make a difference? *Research Report*, 1(1): 7-8. <http://www.jstor.com/stable/resrep15580.6>
- Derwent, H. y Blachowicz, A. (2015b). The current baseline. The meaning of "Green Growth". *Research Report*, 1(1): 4-5. <http://www.jstor.com/stable/resrep15580.4>

- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2012). *Ley General de Cambio Climático*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Huerta, C. (2022). El transporte y el cambio climático: Hacia un transporte bajo en carbono. *Revista Derecho Ambiental y Ecología*, 87(18): 29-33. <http://www.ceja.org.mx/IMG/Revista-87.pdf>
- Ibarra, D. (2013). El modelo de crecimiento económico *Solow-Swan* aplicado a la contaminación y su reciclaje. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(15): 7-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63433989002>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). *Cuentas económicas y ecológicas de México, 2021*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CEEM/CEEM2021.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). *Cuentas económicas y ecológicas de México (CEEM) 2022*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CEEM/CEEM2022.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2024). *Cuentas nacionales*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (2024). *Datos abiertos*. Inegycei. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2024). *Inventario nacional de emisiones y absorciones atmosféricas de Colombia. Gases de efecto invernadero (1990-2021)*. IDEAM. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/05/Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosfe%CC%81ricas_de_Colombia.pdf
- Isa, F., Orúzar, M. y Quiroga, R. (2005). *Cuentas ambientales: Conceptos, metodologías y avances en los países de América Latina y el Caribe*. División de Estadística y Proyecciones Económicas. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/bf1deacb-ceba-4d96-be01-e2c01912e8c5>
- Janardhanan, N. (2012). Energy Transition. *Institute for Global Environmental Strategies. Research Report*, 1: 5-8. <http://www.jstor.com/stable/resrep00778.5>

- Jorgenson, A. y Clark, B. (2012). Are the economy and the environment decoupling? A comparative international study, 1960- 2005. *American Journal of Sociology*, 1(118): 1-44. <https://doi.org/10.1086/665990>
- Lin, S., Beidari, M. y Lewis, C. (2015). Energy consumption trends and decoupling effects between carbon dioxide and gross domestic product in South Africa. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1): 2676-2687. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0258>
- Mauerhofer, V. (2013). Lose less instead of win more: the failure of decoupling and perspectives for competition in a degrowth economy. *Environmental Values*, 1(22): 43-57. <https://doi.org/10.3197/096327113X13528328798237>
- Meadow, D., Meadow, D., Randers, J. y Behrens, W. (1972). *The limits to growth. A report for the club of Rome Project on the predicament of mankind*. A Potomac Associates Book. <https://doi.org/10.1349/ddlp.1>
- Montaño, Y. (2015). *La contabilidad ambiental como principal herramienta de longevidad empresarial. Tesis de licenciatura, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Repositorio de tesis digitales*. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/bb1135de-1ede-4218-98c0-879c1838252f/content>
- Muñoz, T. (2018). *Essays on decoupling economic growth and environmental damage*. Tesis de maestría [no publicada]. Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2002). *Contabilidad ambiental y económica integrada. Manual de operaciones*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesf/seriesf_78s.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Petróleos Mexicanos (2024). *Ambiental, social y gobierno corporativo*. PEMEX. <https://www.pemex.com/ri/Paginas/ambiental-social-corporativo.aspx>
- Samuelson, P. y Nordhaus, W. (2010). *Economía con aplicaciones a Latinoamérica*. (19 ed.). McGraw Hill.

- Secretaría de Gobernación (2024). *Iniciativa de reforma de disposiciones de cambio climático*. http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2021/04/asun_4180473_20210429_1619662807.pdf
- Smulder, S., Toman., M. y Withagen, C. (2014). Growth theory and “green growth”. *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3): 423-446. <https://doi.org/10.1093/oxrep/gru027>
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Soto, G. (2022). La gobernanza multinivel del cambio climático y el papel de los gobiernos subnacionales. *Revista Derecho Ambiental y Ecología*, 87(18): 39-44. <http://www.ceja.org.mx/IMG/Revista-87.pdf>
- 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>
- Van, S. y Stegemann, J. (2023). *An introduction to waste management and circular economy*. UCL Press. <https://www.jstor.org/stable/jj.4350575.17>
- Xue, J. (2012). Indicators of decoupling housing-related environmental impacts from economic growth. *Journal of Housing and the Built Environment*, 4(27): 495-516. <https://doi.org/10.1007/s10901-012-9278-5>
- Yanosek, K. (2012). Policies for financing the energy transition. *Daedalus*, 141(2): 94-104. https://doi.org/10.1162/DAED_a_00149

Crecimiento económico, empleo, innovación y desigualdad regional en México, coordinan Víctor Hugo Torres Preciado, Yolanda Carbajal Suárez y Leobardo de Jesús Almonte, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición digital se terminó en febrero de 2026. En la composición tipográfica se utilizó la familia ITC Veljovick Book. El tamaño del libro es de 22.5 cm por 16 cm de ancho. Programa Editorial No Periódico: Eréndira Cortés Ventura. Diseño de portada: Erika Coral Martínez Ortega. Diseño de interiores, corrección y cuidado de la edición: Myriam Cruz Calvario. Plataformas digitales: Benjamín Cortés Vega y Damara Josselin Jiménez Armenta.

Esta obra, conformada por diez trabajos de distinguidos académicos y académicas de distintas instituciones educativas del país, envía un mensaje contundente para quienes se interesan en el estudio de la geografía económica y de la economía sectorial: las diferencias económicas de largo plazo se deben atender con un enfoque de equidad de oportunidades económicas. No obstante, los diferentes hallazgos empíricos resaltan la importancia de disponer de medidas de políticas públicas que incidan en la estructura de ingresos, motiven la innovación tecnológica, fortalezcan las ventajas comparativas del comercio internacional y protejan el medio ambiente.

ISBN: 978-968-9733-19-5



UNIVERSIDAD DE COLIMA