



REVISTA ANÁLISIS ECONÓMICO

UAM - Azcapotzalco, División de Ciencias Sociales y Humanidades

Vol. 41, Mayo – Agosto de 2026, No. 107

SUMARIO

Presentación 3

Carlos Gómez Chiñas

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

La dinámica de la inversión pública, deuda pública y el crecimiento económico a nivel Estatal en México 9

Edson Valdés Iglesias, Roberto Gallardo Del Ángel
y Christopher Cernichiaro Reyna

Análisis del cambio estructural en la producción y en el empleo para la economía mexicana 2003-2008-2013: una aproximación con la técnica de descomposición estructural 27

Rosalinda Arriaga Navarrete

Depreciación del Capital Humano en México: evidencia por género y sectores con Intensidad Tecnológica, 2005–2024 51

Raúl Barutch Pimienta Gallardo, Gerardo Huber Bernal
y Marco Tulio Ocegueda Hernández

Brecha salarial y pobreza en México: un análisis con perspectiva de género 73

Omar Ricárdez-González, Juan Marroquín-Arreola y David Robles-Ortiz

Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs in states and municipalities in Mexico 91

Mario Alberto García Meza, Julieta Evangelina Sánchez Cano
& Humberto Ríos Bolívar

Efectos de la guerra comercial E.E.U.U.–China en la agroindustria mexicana de la soya vía cópulas	107
--	------------

David Conaly Martínez Vázquez, Francisco J. Reyes Zárate
y Marissa Martínez Preece

Desacoplamiento en México (1895-2023): crecimiento económico y emisiones de dióxido de carbono	127
---	------------

Rodrigo R. Gómez Garza y Claudio Othón Cruz Martínez

Análisis comparativo del capital humano en Nuevo León y Guerrero: un enfoque minceriano	153
--	------------

Brenda Aracely Ramírez-Barraza y Enrique Ávila-Soler

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Economía circular para la contratación pública de bienes y servicios: una metodología alternativa para el sector salud mexicano	169
--	------------

Hugo Alberto Tapia González

Financiamiento climático para fortalecer la conservación de áreas naturales protegidas en México	187
---	------------

Miriam Sosa Castro y Antonina Ivanova Boncheva

Presentación

Con el número 107 que ahora se presenta, continuamos con la entrega del volumen 41 de *Análisis Económico*, correspondiente al periodo mayo-agosto de 2026. En esta ocasión se incluyen diez artículos de investigadores de la Universidad Veracruzana, de la Universidad Autónoma Metropolitana, del Colegio de la Frontera Norte, de la Universidad Autónoma de Baja California, del Instituto Politécnico Nacional, de la Universidad Juárez del Estado de Durango, de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, del Tecnológico Nacional de México-Gustavo A. Madero y de la Universidad Autónoma de Occidente.

Abre el número el trabajo “La dinámica de la inversión pública, deuda pública y el crecimiento económico a nivel Estatal en México” de Edson Valdés Iglesias, Roberto Gallardo Del Ángel y Christopher Cernichiaro Reyna, de la Universidad Veracruzana los dos primeros y de la Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Xochimilco el tercero. El objetivo es determinar si existen efectos de corto y largo plazo de la inversión pública y de la deuda pública en el crecimiento económico a nivel estatal en México. Se estima un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) para datos panel con información de los 32 estados del país durante el periodo 1999-2022. Los resultados confirman la existencia de una relación positiva de largo plazo entre la deuda estatal, la inversión pública y el ingreso *per cápita* de los estados.

Enseguida, se presenta el artículo “Análisis del cambio estructural en la producción y en el empleo para la economía mexicana 2003-2008-2013: una aproximación con la técnica de descomposición estructural” de Rosalinda Arriaga Navarrete, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. El objetivo es de identificar los efectos

de las interrelaciones sectoriales propiciadas por el modelo económico vigente en la producción y el empleo. Con el análisis matricial y la aplicación de un modelo de descomposición estructural se cuantifican los cambios en las interrelaciones mediante el uso de matrices de insumo-producto 2003, 2008 y 2013 para México.

A continuación, se incluye el trabajo, “Depreciación del Capital Humano en México: evidencia por género y sectores con Intensidad Tecnológica, 2005–2024” de Raúl Barutch Pimienta Gallardo, Gerardo Huber Bernal y Marco Tulio Ocegueda Hernández, postdoctorante en el Colegio de la Frontera Norte el primero y profesores de la Universidad Autónoma de Baja California el segundo y el tercero. Este artículo analiza empíricamente la depreciación del capital humano en México entre 2005 y 2024, utilizando microdatos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) e implementando modelos econométricos robustos. La estimación se basa en extensiones de la ecuación de Mincer, que permiten capturar dinámicas diferenciadas en los retornos a la experiencia.

Posteriormente, se presenta el trabajo “Brecha salarial y pobreza en México: un análisis con perspectiva de género” de Omar Ricárdez-González, Juan Marroquín-Arreola y David Robles-Ortiz, los tres del Instituto Politécnico Nacional. El objetivo de este artículo es analizar el impacto de la brecha salarial de género sobre las condiciones de pobreza en México desde una perspectiva regional, de tal manera que se determinen recomendaciones de política que promuevan un mercado laboral equitativo, reduzcan la brecha salarial y disminuyan los niveles de pobreza. Los resultados muestran que la desigualdad salarial conlleva brechas de acceso a

bienes y servicios por la diferencia de salarios dentro de un mismo mercado laboral.

Enseguida, se incluye el artículo “*Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs in states and municipalities in Mexico*” de Mario Alberto García Meza, Julieta Evangelina Sánchez Cano y Humberto Ríos Bolívar, de la Universidad Juárez del Estado de Durango los dos primeros y del Instituto Politécnico Nacional el tercero. Se presenta un nuevo índice para medir la pobreza energética a nivel municipal en México. La pobreza energética limita el acceso a servicios esenciales, pero los indicadores tradicionales no capturan las disparidades locales. Basado en el Índice de Pobreza Energética Multidimensional (MEPI, por sus siglas en inglés), LUMEN incorpora Análisis de Componentes Principales (PCA) para refinar la selección y ponderación de indicadores, utilizando datos del censo y la ENIGH de INEGI para un análisis granular y robusto.

A continuación, se presenta el trabajo “Efectos de la guerra comercial E.E.U.U.–China en la agroindustria mexicana de la soya vía cópulas” de David Conaly Martínez Vázquez, Francisco J. Reyes Zárate y Marissa Martínez Preece, los tres de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco. Esta investigación analiza, mediante un enfoque basado en teoría de cópulas, la relación entre el precio de la soya estadounidense –afectado por la guerra comercial entre Estados Unidos y China– y el comportamiento de los principales índices bursátiles mexicanos con exposición agroindustrial. El estudio abarca el periodo comprendido entre el 22 de marzo de 2018 y el 4 de abril de 2025.

Posteriormente, se incluye el artículo “Desacoplamiento en México (1895-2023): crecimiento económico y emisiones de dióxido de carbono” de Rodrigo R. Gómez Garza y Claudio Othón Cruz Martínez, Investigador por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Acuerdo de colaboración con la

Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa, el primero y de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social el segundo. El estudio analiza si el crecimiento económico de México se ha desacoplado de las emisiones de CO₂ entre 1895 y 2023. 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.

Enseguida, se presenta el trabajo “Análisis comparativo del capital humano en Nuevo León y Guerrero: un enfoque minceriano” de Brenda Aracely Ramírez-Barraza y Enrique Ávila-Soler, de la Universidad Autónoma Metropolitana la primera y del Tecnológico Nacional de México el segundo. El objetivo de este estudio es estimar los retornos a la educación y la experiencia laboral en dos regiones con niveles contrastantes de desarrollo en México: Nuevo León y Guerrero. Para ello se emplea la ecuación de Mincer y la descomposición Oaxaca-Blinder con datos de la ENIGH 2022. Los resultados evidencian barreras estructurales que limitan los beneficios del capital humano en contextos de alta marginación.

A continuación, se incluye el trabajo “Economía circular para la contratación pública de bienes y servicios: una metodología alternativa para el sector salud mexicano”, de Hugo Alberto Tapia González, alumno de doctorado de la Universidad Autónoma de Occidente. Este artículo propone un protocolo metodológico innovador para que las instituciones públicas del sector salud diagnostiquen, analicen y adapten sus procesos de contratación de bienes y servicios hacia modelos de EC. El modelo combina diagnóstico documental, análisis organizacional y evaluación multi-actor para facilitar la transición hacia prácticas circulares en instituciones públicas de salud.

Cierra el número, el artículo “Financiamiento climático para fortalecer la conservación de áreas naturales protegidas en México” de Miriam

Sosa Castro y Antonina Ivanova Boncheva, de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, la primera y de la Universidad Autónoma de Baja California Sur la segunda. Este estudio tiene como objetivo analizar las limitaciones del financiamiento público destinado a las Áreas Naturales Protegidas y proponer mecanismos innovadores para diversificar y fortalecer sus fuentes de financiamiento. La metodología empleada fue una revisión sistemática de la literatura. Los resultados evidencian avances como el diseño de instrumentos financieros en América Latina y proyectos piloto en México, pero también revelan persistentes barreras normativas, técnicas y de articulación institucional.

Dr. Carlos Gómez Chiñas
Director de Análisis Económico

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

La dinámica de la inversión pública, deuda pública y el crecimiento económico a nivel Estatal en México

The dynamics of public investment, public debt and economic growth of States in Mexico

Edson Valdés Iglesias*, Roberto Gallardo Del Ángel**
y Christopher Cernichiaro Reyna***

| *Universidad Veracruzana | Correo electrónico: edvaldes@uv.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5851-3149> |

| **Universidad Veracruzana | Correo electrónico: rogallardo@uv.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4661-0675> |

| ***Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: ccernichiaro@correo.xoc.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1956-5231> |

RESUMEN

En la presente investigación se tiene como objetivo determinar si existen efectos de corto y largo plazo de la inversión pública y de la deuda pública en el crecimiento económico a nivel estatal en México, específicamente en el producto estatal bruto *per cápita*. Para ello, se estima un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) para datos panel con información de los 32 estados del país durante el periodo 1999-2022. Los resultados confirman la existencia de una relación positiva de largo plazo entre la deuda estatal, la inversión pública y el ingreso *per cápita* de los estados, en línea con la hipótesis de que ambos factores contribuyen al crecimiento económico en el largo plazo. No obstante, los efectos en el corto plazo son heterogéneos entre estados, con sólo algunas entidades presentando impactos positivos o negativos. Esto sugiere que, aunque los efectos de corto plazo pueden ser limitados o inconsistentes, en el largo plazo la inversión pública y la deuda estatal desempeñan un papel positivo en el crecimiento del ingreso estatal.

ABSTRACT

This study aims to determine whether public investment and public debt have short - and long -term effects on economic growth at the state level in Mexico, specifically on state gross product per capita. To this end, an autoregressive distributed lag (ARDL) model for panel data is estimated using information from the 32 states of the country for the period 1999–2022. The results confirm the existence of a positive long-term relationship between state debt, public investment, and per capita income, supporting the hypothesis that both factors contribute to economic growth in the long run. However, short-term effects are heterogeneous across states, with only a few showing positive or negative impacts. This suggests that, while short-term effects may be limited or inconsistent, public investment and state debt play a positive role in long-term income growth at the state level.

Recibido: 21/noviembre/2024
Aceptado: 24/marzo/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Inversión pública |
| Deuda pública Estatal |
| Panel ARDL |

Keywords:

| Public investment |
| State public debt |
| Panel ARDL |

Clasificación JEL | JEL Classification:

O11, H74, C33



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

INTRODUCCIÓN

El impacto de la inversión y la deuda públicas en el crecimiento económico ha sido un tema ampliamente debatido en la literatura económica. Desde un enfoque teórico, Galí *et al.* (2007) sostienen que los efectos del gasto público dependen tanto de su financiamiento como del comportamiento del consumo. En este sentido, la deuda pública puede impulsar el crecimiento económico si se

destina a financiar inversión productiva que fomente la actividad económica. No obstante, un nivel excesivo de endeudamiento puede generar presiones fiscales y elevar los costos de financiamiento, lo que, en el largo plazo, podría restringir el crecimiento. De manera similar, la inversión pública contribuye al desarrollo económico si mejora la infraestructura y fomenta la productividad del capital privado. Sin embargo, su efectividad depende del entorno institucional y de la sostenibilidad de su financiamiento, ya que un uso ineficiente o acompañado de altos niveles de endeudamiento puede diluir sus beneficios.

Bajo este marco teórico, diversos estudios han analizado los mecanismos a través de los cuales la inversión y la deuda públicas afectan el crecimiento económico. Miyamoto *et al.* (2020) identifican que la inversión pública incrementa la productividad del capital, lo que fomenta nuevas inversiones privadas y fortalece el stock de capital productivo (Turnovsky, 1997). Asimismo, Aschauer (1989) argumenta que la acumulación de capital público y el flujo de gasto en bienes y servicios inciden positivamente en la productividad del sector privado, lo que permite mejorar la eficiencia económica (Mandl *et al.*, 2008).

Sin embargo, algunos estudios advierten sobre posibles efectos adversos. Fosu *et al.* (2016) destacan que la inversión pública puede desplazar la inversión privada si no se gestiona eficientemente, mientras que Barro (1990) sostiene que su financiamiento mediante impuestos puede reducir el crecimiento económico. Además, en contextos de incertidumbre, los rendimientos del capital público y privado pueden no ser equivalentes, lo que limitaría el impacto positivo de la inversión gubernamental (Finn, 1993).

Por otro lado, la relación entre deuda pública y crecimiento económico ha sido ampliamente estudiada. Asteriou *et al.* (2021) destacan que el pago de los servicios de la deuda puede afectar negativamente el crecimiento económico (Diamond, 1965), mientras que Leão (2013) argumenta que su impacto en el cociente deuda/PIB es incierto. Otros estudios señalan mecanismos de transmisión de efectos negativos, tales como el desplazamiento de la inversión privada (Elmendorf y Mankiw, 1999), el aumento de las primas de riesgo de los bonos gubernamentales (Codogno *et al.*, 2003) y el incremento de las tasas de interés de largo plazo en países con altos niveles de deuda pública (Ardagna *et al.*, 2007). No obstante, Blanchard (2019) sostiene que, si la tasa de interés de la deuda pública es relativamente baja y se mantiene por debajo de la tasa de crecimiento económico, el endeudamiento puede no representar un costo fiscal significativo. Sin embargo, Boskin (2020) advierte que esta concepción puede no ser del todo correcta si no se considera el impacto de la deuda en las tasas de interés y el déficit primario preexistente.

A nivel subnacional, Agarwal y Ansari (2022) identifican que, en el estado de Uttar Pradesh, India, la deuda pública incide negativamente en el crecimiento económico a largo plazo, esto, debido a la acumulación de intereses y su efecto en la formación bruta de capital. Akanbi y Olaoluwa (2022), concluyen que el endeudamiento subnacional en Nigeria facilitó el financiamiento de la inversión estatal, pero su influencia sobre el crecimiento económico, está condicionada a la administración eficiente y sostenible de los niveles de deuda. Para España, Pérez y Manera (2022) encuentran que la inversión pública en infraestructura tiene un efecto positivo y persistente en el crecimiento de las comunidades autónomas, aunque con diferencias según el nivel de PIB *per cápita*. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la heterogeneidad regional en el análisis del impacto de la inversión pública y la deuda, ya que factores como la eficiencia del gasto y la sostenibilidad fiscal pueden modular sus efectos en el crecimiento económico.

En lo referente a México y, en particular, a nivel estatal, Rodríguez y Azamar (2013) identifican que, en el periodo 2006-2009, se ha dado una expansión de la deuda pública en la mayoría de las entidades federativas, sin que se logre establecer un vínculo positivo con la inversión o el crecimiento económico. Srithongrungrung y Sánchez (2015) muestran que, el endeudamiento estatal puede impulsar el crecimiento en el corto plazo cuando se destina a inversión productiva, como infraestructura y bienes públicos que mejoran

la competitividad regional. Sin embargo, en el largo plazo, un alto nivel de deuda pública puede generar efectos adversos debido a la carga financiera, que restringe el gasto en inversión y otros sectores clave. Sánchez y García (2016) presentan evidencia de una correlación positiva entre la inversión y la deuda públicas, además de señalar que la inversión pública es un determinante positivo del crecimiento económico en el periodo 1993-2012. García (2019) encuentra que la relación entre deuda pública, inversión pública y producto *per cápita* es positiva, aunque de magnitud reducida. Más recientemente, Benavides *et al.* (2021) estima una relación de largo plazo entre la inversión pública y el PIB *per cápita*, además de una causalidad que sugiere que el gasto en inversión pública precede el crecimiento del PIB *per cápita*.

A partir de esta revisión, se observa la necesidad de analizar con mayor detalle las interrelaciones dinámicas de la inversión pública, la deuda pública y el crecimiento económico a nivel estatal en México. Aunque existen estudios que han abordado estos vínculos mediante distintos enfoques econométricos, no se han caracterizado de manera clara los efectos de corto ni de largo plazo, considerando la heterogeneidad entre entidades federativas. En este contexto, la presente investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los efectos de corto y largo plazo de la inversión y la deuda pública en el crecimiento económico estatal en México durante el periodo 1999-2022? Para responderla, se plantea caracterizar la dinámica de corto plazo de la inversión pública y la deuda estatal, ya que sus efectos pueden ser heterogéneos; sin embargo, en el largo plazo se espera que contribuyan positivamente al crecimiento del producto estatal *per cápita*.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se analiza el vínculo entre la inversión pública, la deuda pública y el crecimiento económico; en la segunda sección se expone el modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) para datos en panel que se utilizará para caracterizar los efectos de corto y largo plazo; en la tercera sección se presentan los resultados empíricos obtenidos para las entidades federativas en el periodo 1999-2022; y en la última parte se presentan las conclusiones y limitaciones del estudio.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

Desde la recesión global de 2009, que resultó en una contracción del 0.4% del PIB mundial, la relación entre inversión pública, deuda pública y crecimiento económico ha sido un tema ampliamente estudiado en la literatura económica. Diversos estudios han examinado los efectos de la inversión pública en la actividad económica, identificando tanto impactos positivos como posibles limitaciones derivadas de su financiamiento. Asimismo, la deuda pública ha sido objeto de debate, con evidencia que sugiere efectos, tanto favorables, como adversos en el crecimiento, dependiendo del contexto macroeconómico y del nivel de endeudamiento.

Relación entre inversión pública y crecimiento económico

La literatura ha demostrado que la inversión pública en infraestructura puede generar efectos positivos y sostenidos sobre la actividad económica. Miyamoto *et al.* (2020) identifican que, en países desarrollados de la OCDE, una expansión de la inversión pública tiene efectos positivos y parece no estar asociada con un crecimiento significativo del cociente deuda/PIB. Este fenómeno podría explicarse por dos razones: en primer lugar, una mayor inversión puede no tener un impacto significativo en el presupuesto gubernamental, ya que puede verse compensada vía ingresos o recortes en otros gastos; en segundo lugar, el crecimiento en la producción asociado con el choque positivo de la inversión pública supera el aumento de la inversión privada, evitando el efecto *crowding-out*. En línea con esto, Aschauer (1989) encuentra que la acumulación de capital del sector público, así como los gastos del gobierno en bienes y servicios, tienden a influir de manera positiva en la productividad del capital privado. Gupta *et al.* (2014) muestran que la productividad del capital gubernamental

es mayor que el costo marginal de los fondos de financiamiento. De manera similar, Lynde y Richmond (1993) indican que la reducción de la relación capital-trabajo público contribuyó significativamente a la caída de la productividad del sector empresarial no financiero en Estados Unidos entre 1958 y 1989.

Scandizzo y Pierleoni (2020) argumentan que los responsables de las políticas deberían implementar la inversión pública, no solo como un mecanismo de estímulo económico, sino también como una herramienta de estabilización macroeconómica. Según sus hallazgos, la inversión pública debe utilizarse, tanto para mitigar el impacto de cambios abruptos en la economía, como para contrarrestar choques negativos. Al mismo tiempo, una estrategia de inversión pública bien diseñada contribuye a garantizar estabilidad económica a largo plazo.

Los efectos de la inversión pública no son homogéneos entre regiones ni entre niveles de desarrollo. Pérez y Manera (2022) encuentran que la inversión en infraestructura en las comunidades autónomas de España tiene un impacto positivo y persistente en el crecimiento económico, con multiplicadores fiscales superiores a uno a lo largo de cinco años. No obstante, el impacto varía según la región: las comunidades con mayor PIB *per cápita* experimentan beneficios más elevados, mientras que aquellas con menor desarrollo muestran efectos más limitados. En México, Srithongrung y Sánchez (2015) concluyen que la inversión pública tiene un efecto positivo y significativo, tanto en el corto como en el largo plazo, lo que refuerza la hipótesis de que el gasto en infraestructura pública impulsa el crecimiento económico a nivel estatal. Srithongrung y Kriz (2014) analizan el caso de Estados Unidos y sugieren que la estructura fiscal subnacional, incluidas las estrategias de financiamiento y el equilibrio entre impuestos y deuda, es un factor clave para maximizar el impacto positivo del gasto en capital público.

La relación entre la inversión pública y el crecimiento económico ha sido analizada desde diversas perspectivas teóricas, entre ellas el modelo de Solow, que ha sido aplicado para estudiar la acumulación de capital y la inversión. Aplicaciones recientes han extendido este modelo para incorporar efectos espaciales, reconociendo que el crecimiento en una región no ocurre de manera aislada. Otieno (2024) emplea un modelo espacial Durbin de efectos fijos para examinar el impacto de la deuda pública y la inversión extranjera en el crecimiento de África Oriental, encontrando que estos factores tienen efectos significativos en las economías vecinas debido a la proximidad geográfica y las externalidades espaciales. Asimismo, Mankiw *et al.* (1992) sugieren que la interdependencia regional en el crecimiento puede explicarse por el modelo de Solow con *spillovers* tecnológicos, lo que resalta la importancia de considerar vínculos espaciales en el diseño de políticas económicas.

A pesar de sus beneficios, algunos estudios advierten sobre los efectos adversos de la inversión pública. Fosu *et al.* (2016) documentan que la inversión pública puede generar efectos negativos en la producción si provoca un *crowding-out*. En Estados Unidos, Kim y Nguyen (2020) identifican que el sector privado reacciona a los aumentos del gasto público con una reducción de sus inversiones. La contracción por la expansión del gasto público va acompañada de disminuciones en el crecimiento del empleo y de las ventas. Las empresas tienen menos posibilidades de inversión, debido al impacto del gasto público en los mercados laborales a nivel local.

Barro (1990) sostiene que su financiamiento mediante impuestos puede reducir el crecimiento económico, mientras que Finn (1993) resalta que, en un contexto de incertidumbre, los rendimientos del capital público y privado pueden no ser equivalentes, lo que limita el impacto positivo de la inversión gubernamental. Además, la expansión de la inversión pública financiada con un aumento en la tasa impositiva sobre el trabajo o el capital puede reducir la mano de obra y la inversión privada, disminuyendo la producción agregada. Unsal (2020) analizan 17 países de la OCDE para el período 1995-2017 y encuentran que los gastos de defensa tienen un

efecto positivo en las inversiones privadas. Sin embargo, los gastos gubernamentales totales y los de protección social afectan negativamente a la inversión privada.

La velocidad con la que influye la inversión pública también es un aspecto fundamental que considerar. Durand *et al.* (2021) señalan que la magnitud de los fondos utilizados genera implicaciones a largo plazo, sobre todo si la inversión se financió con deuda. En este sentido, los efectos de la inversión pública no solo repercuten en la sostenibilidad fiscal, sino también en el crecimiento económico, el desarrollo a largo plazo y la resiliencia frente a posibles crisis. Masten y Gnip (2019) analizan los efectos macroeconómicos de la inversión pública en países del sudeste de Europa y concluyen que su principal canal de transmisión es la atracción de inversión privada, lo que a su vez contribuye al crecimiento de la productividad. En contraste, He (2017) encuentra que, en China, la inversión pública tiene un efecto positivo sobre el PIB a corto plazo, pero desplaza la inversión privada. Sin embargo, a largo plazo, su relación con el crecimiento económico es positiva. De manera similar, Funashima y Ohtsuka (2019) identifican diferencias regionales en Japón entre zonas urbanas y rurales en cuanto al impacto de la inversión pública sobre la inversión privada.

Relación entre deuda pública y crecimiento económico

En lo que respecta a la deuda pública, su relación con el crecimiento económico también ha sido objeto de análisis desde diversas posturas teóricas y empíricas (Asteriou *et al.*, 2021) destacan que este vínculo ha sido estudiado desde diversas perspectivas teóricas y empíricas. Diamond (1965) sostiene que el financiamiento del pago de intereses de la deuda pública afecta negativamente el crecimiento a largo plazo al reducir el consumo y el ahorro. Por otro lado, Leão (2013) argumenta que un aumento en la deuda pública puede generar efectos positivos en la producción mediante el multiplicador keynesiano, al incrementar los ingresos fiscales y reducir las transferencias gubernamentales. Vanlaer *et al.* (2021) encuentran para los países de la Unión Europea, entre 1995 y 2016, que una mayor deuda pública resultó en una menor inversión privada, el llamado efecto de sobreendeudamiento.

Para mercados emergentes, la relación entre inversión pública, deuda pública y crecimiento económico es no lineal y depende de la estructura económica y el nivel de endeudamiento. Reinhart y Rogoff (2010) identifican la existencia de umbrales críticos de deuda que pueden limitar el crecimiento. Lau *et al.* (2022) estiman, para 16 países asiáticos durante los años 1980 a 2016, el umbral apropiado de deuda/PIB, encontrando que la deuda impacta negativa y significativamente el crecimiento en la mayoría de estos países. En esta misma línea, Pham *et al.* (2020) construyen el intervalo del umbral de la deuda pública para 13 países asiáticos durante el período 2004-2015 y encuentran que el impacto de la deuda pública en el crecimiento económico de los países de ingresos medios en la región es estadísticamente significativo si el cociente de deuda pública es inferior al 26.96% del PIB o superior al 72.53%.

Bhimjee y Leão (2020) estiman para 19 países de la zona del euro entre 1995 y 2016, los umbrales de deuda pública que exhiben el máximo nivel de apalancamiento con respecto al PIB, determinando la heterogeneidad que existe en la zona, puesto que los umbrales oscilan entre el 8% para Estonia y el 105% para Bélgica. Mientras tanto, Furceri y Li (2017) encuentran que un incremento en la inversión pública puede contribuir a reducir la desigualdad si se traduce en un mayor crecimiento económico. En el caso de México, Vaca *et al.* (2020) identifican que cuando la deuda pública supera el 27% del PIB, los efectos marginales sobre el crecimiento económico se vuelven negativos.

A nivel subnacional, Rodríguez y Azamar (2013) indican que, en la mayoría de las entidades federativas de México, la expansión de la deuda pública tiene efectos negativos sobre el producto. Sánchez y García (2016) encuentran una correlación positiva entre inversión y deuda pública, aunque advierten que la tasa de crecimiento

de la deuda es superior a la del PIB *per cápita*, lo que plantea dudas sobre su sostenibilidad. En este sentido, Benavides *et al.* (2021) muestran que el financiamiento mediante deuda ha sido un mecanismo empleado por los estados para sostener la inversión pública cuando los ingresos impositivos locales resultan insuficientes, aunque los efectos en el crecimiento dependen de la eficiencia en el uso de los recursos. De manera similar, Akanbi y Olaoluwa (2022) sostienen que el endeudamiento subnacional puede facilitar la inversión estatal, pero su impacto en el crecimiento es incierto si los recursos no se destinan a proyectos productivos.

En una línea similar, García (2019) identifica un efecto significativo entre la deuda y la inversión pública, así como un vínculo positivo entre inversión pública y producto *per cápita*. Más recientemente, Benavides *et al.* (2021) estima que existe una relación de largo plazo entre la inversión pública y el PIB *per cápita*, además de una causalidad que va del gasto en inversión pública al PIB *per cápita*.

Los estudios previos estudian el impacto de la inversión y la deuda pública en el crecimiento económico, han identificado efectos positivos en la productividad del sector privado y en la acumulación de capital, pero también posibles efectos adversos como el *crowding-out* o la pérdida de eficiencia en contextos de elevada deuda. Sin embargo, la mayoría de estas investigaciones se han centrado en economías desarrolladas o en análisis agregados a nivel nacional, dejando un vacío en la comprensión de estos efectos en el ámbito subnacional, donde la heterogeneidad entre regiones puede generar dinámicas diferenciadas. En este sentido, la presente investigación contribuye a la literatura al examinar los efectos de corto y largo plazo de la inversión pública y la deuda estatal sobre el crecimiento económico en México a nivel estatal, permitiendo identificar no solo la relación de largo plazo entre estas variables, sino también la heterogeneidad en sus efectos de corto plazo. Al utilizar un modelo ARDL para datos en panel con información de los 32 estados del país, este estudio amplía la evidencia empírica existente al ofrecer una caracterización más detallada del papel de la inversión pública y la deuda estatal en el crecimiento del ingreso *per cápita* en economías emergentes con marcadas diferencias regionales.

II. METODOLOGÍA

Para tratar de capturar los efectos de corto y de largo plazo que tienen las variaciones de la inversión y deuda pública sobre el nivel de producción a nivel Estatal se utiliza un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL) para panel, ya que de acuerdo con Pesaran *et al.* (1999) este tipo de modelos resultan ser efectivos, independientemente de si los regresores son integrados de orden I(0) o I(1) o están cointegrados entre sí. A su vez, al incluir un número apropiado de rezagos es suficiente para corregir de manera simultánea la correlación serial y problemas de endogeneidad (Pesaran y Shin, 1999). La ecuación de un modelo ARDL para panel se puede especificar como:

$$y_{it} = c_0 + y_{it-1} + \theta x_{it} + \sum_{r=1}^p \phi_r y_{it-r} + \sum_{j=0}^q \beta_j x_{it-j} + u_{it} \quad (1)$$

Para incluir la dinámica de corto y largo plazo podemos reformular el ADRL para panel como modelo de corrección de errores (ECM) de la siguiente manera:

$$\Delta y_t = c_0 - \alpha(y_{it-1} + \theta x_{it-i}) + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j \Delta x_{t-j} + u_t \quad (2)$$

donde Δ denota el operador de diferencia para las series de tiempo, en el caso de la variable dependiente y_{t-1} y las explicativas x_t se consideran en niveles si no tiene asociado el operador de diferencia, si el signo del

coeficiente α es negativo y es estadísticamente significativo, implicará que cualquier desequilibrio a largo plazo entre las variables dependientes y un número de variables independientes volverá a converger a su equilibrio a largo plazo. Los coeficientes de largo plazo θ son los efectos de equilibrio de las variables independientes sobre la variable dependiente, los coeficientes de corto plazo β_j serán las fluctuaciones que no se deben a desviaciones del equilibrio a largo plazo.

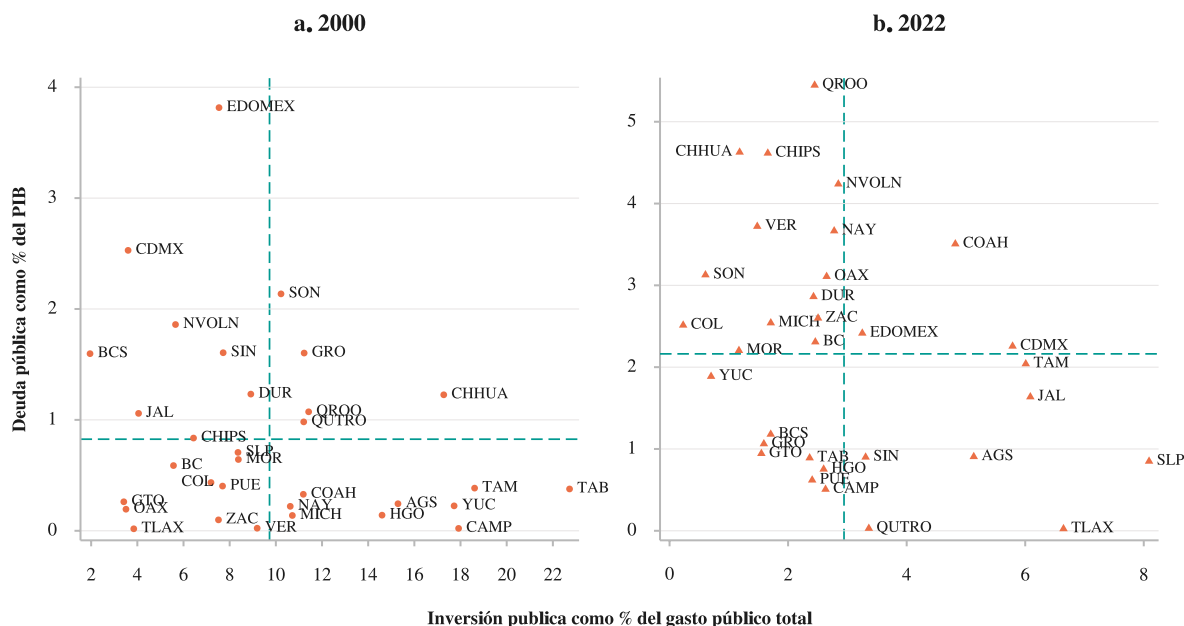
De ahí que, este tipo de modelo permite caracterizar a cada una de las unidades, al permitir que los coeficientes de corto plazo y las varianzas de los errores difieran entre grupos, pero los parámetros de largo plazo sean homogéneos, ya que, los procedimientos para la estimación, como estimadores de efectos fijos o de variables instrumentales o el método de momentos generalizados (GMM), pueden producir estimaciones inconsistentes (Pesaran *et al.*, 1997).

III. ALGUNOS HECHOS ESTILIZADOS

Los datos empleados en la investigación provienen de las Estadísticas de Finanzas Públicas Estatales y Municipales elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para el periodo 1999-2022, de ahí que, por la disponibilidad y consistencia de los datos; se seleccionaron cinco variables: Producto Interno Bruto (Y), Inversión Pública (I), Deuda Pública (D), Gasto Público Total (G) e Impuestos (T). Toda la información fue ajustada a precios del 2018, con frecuencia anual para cada Entidad Federativa y en términos *per cápita*.

Como una primera aproximación a la investigación, en la Gráfica 1 se compara la evolución de la deuda pública como proporción del PIB y la inversión pública como porcentaje del gasto para los años 2000 (panel a) y 2022 (panel b). Con la intención de separar a las entidades en función de la proporción del gasto que destinan a la inversión y el nivel de endeudamiento, se establecen dos líneas de referencia que indican el promedio en cada eje, esto va a permitir clasificar a los estados en cuatro cuadrantes: en el primero tenemos los estados que mostraron el mayor nivel de deuda como porcentaje del PIB como el mayor gasto en inversión; en el segundo se encuentran los que presentaron alto nivel de endeudamiento, pero un detrimento en la inversión; el tercer cuadrante contiene a los estados que exhiben menor porcentaje tanto en deuda como en inversión; el cuarto contiene a las entidades con mayores asignaciones a la inversión, pero un menor nivel de deuda. Resulta que, para 2000, Estado de México, Ciudad de México, Nuevo León, Sinaloa, Baja California Sur, Durango y Jalisco están en el segundo cuadrante; mientras que en el cuarto cuadrante observamos a nueve entidades: Aguascalientes, Hidalgo, Tamaulipas, Coahuila, Nayarit, Michoacán, Yucatán, Campeche y Tabasco. En cambio, para 2022 solo Aguascalientes y Tamaulipas se mantuvieron en el cuarto cuadrante, y el Estado de México, Ciudad de México y Coahuila se colocaron en el tercer cuadrante, no obstante, la proporción de gasto público destinado a la inversión disminuyó de manera generalizada.

Gráfica 1
Deuda como porcentaje del PIB Estatal y la inversión pública
como porcentaje del Gasto Público 2000 y 2022



Fuente: elaboración propia.

Al no encontrar un patrón claro en la evolución del gasto público destinado a la inversión y la deuda pública como proporción del PIB estatal, se intenta capturar la dinámica en términos *per cápita* entre las variables elegidas a través de la metodología propuesta por Pesaran *et al.* (1999), para lo cual se comienza corroborando el orden de integración de las series a partir de las pruebas Harris-Tzavalis, Levin-Lee-Chu e Im-Pesaran-Shin, los resultados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Pruebas de Raíz Unitaria para Panel

Variable	Especificación	Harris-Tzavalis	Levin-Lee-Chu	Im-Pesaran-Shin	Orden
$\log Y$	constante	-20.0277***	-8.1609***	-3.2016***	I(1)
	constante y tendencia	-8.1171***	-15.7625**	-4.9139***	I(1)
$\log I$	constante	-23.4802***	-9.3984***	-18.7869***	I(1)
	constante y tendencia	-11.5142***	-14.0009***	-13.7317***	I(1)
$\log D$	constante	-10.2758***	-12.0476***	-5.5727***	I(1)
	constante y tendencia	-14.5757***	-18.5949***	-8.3188***	I(1)
$\log G$	constante	-15.9636***	-13.6215***	-14.4449***	I(1)
	constante y tendencia	-16.7787***	-10.2525***	-16.3744***	I(1)
$\log T$	constante	-19.4575***	-10.9333***	-16.2827***	I(1)
	constante y tendencia	-20.1616***	-18.8514***	-14.6057***	I(1)

Nota: *** al 99% ** al 95% y * al 90%.

Fuente: elaboración propia.

Al ser las cinco series estacionarias en su primera diferencia, se realiza la prueba de cointegración, con el fin de encontrar evidencia sobre una posible existencia de una relación de largo plazo entre el PIB, inversión y deuda pública en términos *per cápita*; a su vez, se trata de determinar si existen efecto de largo plazo de las fuentes de financiamiento (deuda público e impuestos) en la inversión pública, para lo cual se emplean las pruebas de Kao (1999) y Pedroni (2004), los resultados se presentan el Cuadro 2 y Cuadro 3.

Cuadro 2
Pruebas de Cointegración entre PIB, inversión y deuda públicas *per cápita*

<i>Prueba de Kao</i>			<i>Prueba de Pedroni</i>		
	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>
Mod. D-F	2.739	0.0031	Var. Ratio	-3.1886	0.0007
Dickey-Fuller	2.9289	0.0017	Mod. Phillips- Perron	-2.8933	0.0019
Ad. Dickey-Fuller	1.7304	0.0418	Phillips- Perron	-2.7388	0.0031
Unad. Mod. D-F	2.139	0.0162	ADF	2.0492	0.0202
Unad. D-F	2.2199	0.0132			

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3
Pruebas de Cointegración entre inversión pública, impuestos y deuda público *per cápita*

<i>Prueba de Kao</i>			<i>Prueba de Pedroni</i>		
	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>	<i>Statistic</i>	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>
Mod. D-F	-3.2437	0.0006	Var. Ratio	2.6852	0.0036
Dickey-Fuller	-3.4595	0.0003	Mod. Phillips- Perron	-2.3429	0.0096
Ad. Dickey-Fuller	-2.5797	0.0049	Phillips- Perron	-1.9069	0.0283
Unad. Mod. D-F	-8.1074	0.000	ADF	-1.6492	0.0496
Unad. D-F	-5.5862	0.000			

Fuente: elaboración propia.

Con la información obtenida del orden de integración de las series de tiempo, el test de Kao (1999) y de Pedroni (2004) de cointegración de panel, el modelo estimado para la relación entre el PIB, inversión pública y deuda pública *per cápita* es el siguiente:

Modelo ARDL (1, 1,1).

$$\log Y_{it} = \mu_i + \beta_{10i} \log I_{it} + \beta_{11i} \log I_{it-1} + \beta_{20i} \log D_{it} + \beta_{21i} \log D_{it-1} + \lambda_i \log Y_{it-1} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Siendo el modelo de corrección de error asociado a este ARLD (1, 0,0):

$$\Delta \log Y_{it} = \phi_i [\log Y_{it-1} - \theta_{0i} - \theta_{1i} \log I_{it} - \theta_{2i} \log D_{it}] + \beta_{11i} \Delta \log I_{it} + \beta_{21i} \Delta \log D_{it} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

con: $\theta_{0i} = \frac{(\mu_i)}{(1-\lambda_i)}$; $\theta_{1i} = \frac{(\beta_{10i} + \beta_{11i})}{(1-\lambda_i)}$; $\theta_{2i} = \frac{(\beta_{20i} + \beta_{21i})}{(1-\lambda_i)}$; $\phi_i = -(1-\lambda_i)$

donde $\log Y_i$ es el logaritmo del PIB Estatal *per cápita*, $\log I_i$ es el logaritmo de la inversión pública *per cápita* y $\log D_i$ es el logaritmo de la deuda pública *per cápita*, para evitar problemas de endogeneidad, siguiendo a Murthy y Okunade (2016), se incluye un rezago¹ de las variables dentro del modelo de corrección de error asociado al ARDL. En el Cuadro 4 se presentan las estimaciones del modelo ARDL con corrección de datos panel para *Mean Group* (MG) y *Pooled Mean Group* (PMG); para evaluar cual es la mejor especificación se utiliza la prueba de Hausman, y se obtuvo un valor de $\chi^2 = 4.31$ y una $\text{Prob} > \chi^2 = 0.1156$, lo cual nos lleva a no rechazar la hipótesis nula, es decir, tiene mejor ajuste PMG.

Cuadro 4
Estimación del modelo MG y PMG para el PIB *per cápita*

	<i>Mean Group (MG)</i>			<i>Pooled Mean Group (PMG)</i>		
	<i>Coef.</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Z</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Z</i>
ECT						
$\log I_{it}$	0.023943	0.024570	0.97	0.0079666*	0.0047156	1.69
$\log D_{it}$	0.020954	0.016363	1.28	0.0036209**	0.0067552	2.54
Corto-Plazo						
ECT	-0.4160274***	0.0443501	-9.38	-0.2755107***	0.0326048	-8.45
$\Delta \log I_t$	-0.0035553	0.0044856	-0.79	-0.0021871*	0.0040082	-1.71
$\Delta \log D_t$	-0.0234982**	0.0101161	-2.32	-0.01371*	0.0082432	-1.66
$\Delta \log I_{t-1}$	0.0032318	0.0037363	0.86	0.0018121	0.0032892	0.55
$\Delta \log D_{t-1}$	-0.0112004	0.0111457	-1.0	0.0011837	0.0087538	0.14
Const	4.903907***	0.5476444	8.95	3.329136***	0.3984323	8.36

Nota: *** al 99% ** al 95% y * al 90%.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la estimación PMG nos permiten desagregar a nivel estatal la dinámica de corto de plazo entre las variables estudiadas, lo cual, parte del hecho de mantener agrupados los parámetros de largo plazo, pero se relaja la restricción en el coeficiente común de corto plazo, asumiendo la existencia de homogeneidad de pendiente largas (Pesaran *et al.*, 1999), ya que las estimaciones agrupadas muestran que tanto la deuda, como la inversión pública, son estadísticamente significativas, pero tiene incidencia negativa sobre la tasa de crecimiento del PIB *per cápita*. En el Cuadro 5 se presentan los coeficientes de corto plazo de las variables a nivel subnacional, de lo cual encontramos que la inversión pública *per cápita* es estadísticamente significativa en Baja California Sur, Coahuila, Colima, Jalisco, Nayarit, San Luis Potosí, Yucatán y Tamaulipas; no obstante, solo tiene un efecto positivo en Coahuila y Nayarit, en las demás Entidades Federativas sus efectos son negativos hacia el nivel de producción *per cápita*. En lo referente a la deuda pública, tiene efectos positivos en Oaxaca y San Luis Potosí; pero efectos negativos en Campeche, Coahuila, Nayarit y Jalisco.

1. Se utiliza el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el rezago.

Cuadro 5
Estimación de los Coeficientes de Corto Plazo para el PIB *per cápita*

<i>Entidad Federativa</i>	<i>Velocidad Ajuste</i>	<i>Inversión pública</i>	<i>Deuda pública</i>	<i>Entidad Federativa</i>	<i>Velocidad Ajuste</i>	<i>Inversión pública</i>	<i>Deuda pública</i>
AGS	-0.11116	0.006746	0.005349	MOR	-0.2184	0.024357	0.010618
BC	-0.29790***	-0.08981	0.014212	NAY	-0.71949***	0.078543***	0.004227
BCS	-0.31206*	-0.11305***	0.007835	NVOLN	-0.49195***	-0.04626	-0.00376
CAMP	0.060299**	-0.00353	-0.05158**	OAX	-0.33196**	0.018107	0.031935**
COAH	-0.70653***	0.046093**	-0.0801***	PUE	-0.18506	-0.01364	0.021835
COL	-0.38926**	-0.03551	-0.00599	QUTRO	-0.25132*	-0.02165	0.005261
CHIPS	-0.12896	0.003407	0.007753	QROO	-0.45325**	0.003477	0.000619
CHHUA	-0.08518	0.001907	-0.03306	SLP	-0.19660***	-0.11919***	0.035325**
CDMX	-0.11873	-0.03178	0.002898	SIN	-0.22950*	-0.01710	0.019203
DUR	-0.26754**	0.021187	0.005568	SON	-0.28982**	0.006571	-0.02077
GTO	-0.10952	-0.05044	-0.00023	TAB	-0.20615*	-0.00091	0.021871
GRO	-0.42762***	-0.00938	-0.01709**	TAM	-0.55253***	-0.02924*	0.009264
HGO	-0.29849**	-0.01140	-0.01352	TLAX	-0.52644***	0.002014	-0.00215
JAL	-0.22359*	-0.11383***	-0.01930	VER	-0.27274**	-0.00620	0.000009
EDOMEX	-0.25559*	0.073953	0.003027	YUC	-0.10567	-0.02976***	-0.00655**
MICH	0.010948	0.015269	-0.00651	ZAC	-0.12444	0.002417	-0.01612

Nota: *** al 99% ** al 95% y * al 90%.

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de determinar la incidencia de las fuentes de financiamiento (deuda pública e ingresos tributarios) en la inversión pública, partiendo del orden de integración y la existencia de una relación de largo plazo entre ellas, el modelo ARDL de corrección de error asociado a este será el siguiente:

$$\Delta \log I_{it} = \phi_i [\log I_{it-1} - \theta_{0i} - \theta_{1i} \log D_{it} - \theta_{2i} \log T_{it}] + \beta_{11i} \Delta \log D_{it} + \beta_{21i} \Delta \log T_{it} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

$$\text{Con: } \theta_{0i} = \frac{(\mu_i)}{(1-\lambda_i)}; \theta_{1i} = \frac{(\delta_{10i} + \delta_{11i})}{(1-\lambda_i)}; \theta_{2i} = \frac{(\delta_{20i} + \delta_{21i})}{(1-\lambda_i)}; \phi_i = -(1-\lambda_i)$$

donde $\log I_i$ es el logaritmo de la inversión pública *per cápita*, $\log D_i$ es el logaritmo de la deuda pública *per cápita* y $\log T_i$ es el logaritmo de los impuestos *per cápita*, para evitar problemas de endogeneidad (Murthy y Okunade, 2016) se incluye un rezago² de las variables. En el Cuadro 6 se encuentran las estimaciones para *Mean Group* (MG) y *Pooled Mean Group* (PMG); para determinar cuál es la mejor especificación se implementó el Test de Hausman (valor de $\chi^2 = 1.18$ y una $\text{Prob} > \chi^2 = 0.5555$), siendo PMG es el que tiene mejor ajuste.

2. Se utiliza el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el rezago.

Cuadro 6
Estimación del modelo MG y PMG para la inversión pública

	<i>Mean Group (MG)</i>			<i>Pooled Mean Group (PMG)</i>		
	<i>Coef.</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Z</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Z</i>
ECT						
$\log D_{it}$	0.1261056	0.3012619	0.42	-0.1156754**	0.0493004	-2.35
$\log T_{it}$	-0.7435198**	0.2240716	-3.32	-0.7785367***	0.1366779	-5.7
Corto-Plazo						
ECT	-0.544175***	0.0474992	-11.46	-0.3355908***	0.0387486	-8.66
$\Delta \log D_t$	0.476053***	0.11554	4.12	0.4148987**	0.1375418	3.02
$\Delta \log T_t$	0.50009**	0.1593709	3.14	0.2487005*	0.1312773	1.89
$\Delta \log D_{t-1}$	0.1211422	0.1424379	0.85	-0.0387605	0.111674	-0.35
$\Delta \log T_{t-1}$	0.51394**	0.1402804	3.66	0.2905517**	0.1111879	2.61
Const	7.099235***	1.585985	4.48	4.060214***	0.4662107	8.71

Nota: *** al 99% ** al 95% y * al 90%.

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de mostrar las diferencias estatales de las fuentes de financiamiento (deuda e impuestos) en la inversión pública, se desagruparon los coeficientes de corto plazo, manteniendo agrupados los coeficientes de largo. En el Cuadro 7 se presentan los resultados, de lo cual se observa que los efectos de la deuda pública *per cápita* sobre la inversión fueron significativos en Aguascalientes, Coahuila, Colima, Durango, Hidalgo, San Luis Potosí, Yucatán y Veracruz, pero fue negativa su incidencia en los estados del sur del país. En lo que respecta a los impuestos, en Aguascalientes, Chiapas, Guanajuato y el Estado de México influyen de manera positiva y solo en Nayarit contrae el nivel de inversión pública.

Cuadro 7
Estimación de los coeficientes de Corto Plazo para la inversión pública

<i>Entidad Federativa</i>	<i>Velocidad Ajuste</i>	<i>Deuda pública</i>	<i>Impuestos</i>	<i>Entidad Federativa</i>	<i>Velocidad Ajuste</i>	<i>Deuda pública</i>	<i>Impuestos</i>
AGS	-0.03532	0.549576*	0.746814*	MOR	-0.3643***	0.00976	-0.00570
BC	-0.70941***	0.883009	1.057931	NAY	-0.66353**	0.00976	-0.00570*
BCS	-0.24849*	-0.02226	0.556609	NVOLN	-0.44575**	-0.006884	-0.00835
CAMP	-0.46737***	0.027533	-0.11258	OAX	-0.29526**	0.03230	0.00062
COAH	-0.58678***	0.495487***	-0.24053	PUE	-0.20673	0.01228	0.00312
COL	0.014907	1.362785**	0.417970	QUTRO	-0.3205**	0.0017676	0.01321
CHIPS	0.014907	1.362785	0.417970*	QROO	-0.42361**	-0.01124	-0.01962
CHHUA	-0.07962	0.115211	0.577493	SLP	-0.06375	0.035387*	0.008931
CDMX	-0.09074	-2.86766	0.128512	SIN	-0.22308	0.0143177	0.001714
DUR	-0.24635**	1.062078*	-0.05791	SON	-0.201956	-0.014888	0.00678
GTO	-0.15511*	0.254793	0.5276***	TAB	-0.148957	0.0223595	0.000749
GRO	-0.32834**	0.397107	0.506423	TAM	-0.535958***	0.003719	-0.00573
HGO	-0.34864***	0.790339*	0.635345	TLAX	-0.358563	-0.006660	0.0013268

Entidad Federativa	Velocidad Ajuste	Deuda pública	Impuestos	Entidad Federativa	Velocidad Ajuste	Deuda pública	Impuestos
JAL	-0.21768	0.990304	-0.51650	VER	-0.45215***	-0.01225**	-0.00191
EDOMEX	-0.15197	0.227175	1.09856**	YUC	-0.18107**	-0.01251***	-0.004082
MICH	-0.17846	-0.10884	0.522905	ZAC	-0.10156**	-0.01308	0.00161

Nota: *** al 99% ** al 95% y * al 90%.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que los efectos de la inversión pública y la deuda estatal sobre el crecimiento económico no son homogéneos entre las entidades federativas. En la mayoría de los estados donde la relación entre inversión y crecimiento fue estadísticamente significativa, los coeficientes fueron negativos, lo que contrasta con estudios previos como Rodríguez y Azamar (2013) y Sánchez y García (2016), quienes encuentran una relación positiva entre inversión y producto. Sin embargo, estos hallazgos pueden explicarse por la heterogeneidad subnacional en la eficiencia del gasto y las condiciones económicas locales, como lo documentan Pérez y Manera (2022) para España y Srithongrung y Kriz (2014) para Estados Unidos, quienes enfatizan que el impacto de la inversión pública depende del nivel de desarrollo y del diseño de las estrategias fiscales a nivel regional.

Por otro lado, la relación entre deuda pública y crecimiento presenta un comportamiento mixto, con efectos intercalados entre los estados, lo que sugiere que su impacto depende de la sostenibilidad del endeudamiento y del destino de los recursos. En este sentido, estudios como los de Benavides *et al.* (2021) y Akanbi y Olaoluwa (2022) sostienen que la deuda subnacional puede ser una fuente clave de financiamiento para la inversión pública cuando los ingresos fiscales locales son insuficientes, pero advierten que su impacto en el crecimiento es incierto si los recursos no se destinan a proyectos productivos. Además, García (2019) encuentra que la deuda tiene efectos diferenciados en el corto y largo plazo, con impactos positivos iniciales que pueden revertirse cuando el endeudamiento no está acompañado de eficiencia en la gestión del gasto.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de adoptar un enfoque diferenciado en la formulación de políticas públicas a nivel subnacional, considerando que no todas las estrategias de inversión y financiamiento generan los mismos efectos en cada entidad. La literatura indica que la eficiencia en el uso de la inversión y la sostenibilidad fiscal son factores determinantes para maximizar el impacto positivo en el crecimiento económico. En economías emergentes como México, donde los recursos son limitados, el diseño de políticas de inversión y endeudamiento debe contemplar las condiciones estructurales de cada estado para evitar efectos adversos sobre el crecimiento y la estabilidad fiscal.

CONCLUSIONES

En las últimas décadas, gran parte de la literatura se ha centrado en estimar la magnitud del efecto de la inversión gubernamental en el crecimiento económico y la productividad de los factores (Vagliasindi y Gorgulu, 2021), parte de estos trabajos sostienen que su influencia en el corto plazo es positiva sobre la inversión privada y la productividad (Aschauer, 1989; Miyamoto *et al.*, 2020; Furceri y Li, 2017), o efectos en la producción de corto y de largo plazo, que atraen la inversión privada y reduce el desempleo (Abiad *et al.*, 2016), pero si sobrepasan cierto umbral esos efectos se difuminan (Fosu *et al.*, 2016), por ser sostenidos con una alza en las tasas impositivas (Barro, 1990). Por otro lado, la evidencia de interacción entre la deuda gubernamental y el crecimiento; es diversa desde efectos negativos de largo plazo en el producto (Diamond,

1965), *crowding-out* en la inversión privada (Elmendorf y Mankiw, 1999); incrementos en las tasas de interés de largo plazo por sobre endeudamiento (Ardagna *et al.*, 2007); *spreads* de los bonos altos por posiciones fiscales débiles (Von Hagen *et al.*, 2011).

Desde otro punto de vista, Blanchard (2019) enfatiza que, si la tasa de interés de la deuda pública se ubica por debajo de la tasa de crecimiento de la economía, puede no tener costo fiscal; no obstante, la evidencia empírica sugiere que expansiones desmedidas de la deuda generan impuestos más elevados y desigualdad intergeneracional (Boskin, 2020).

En suma, lo dicho hasta aquí sobre la interacción de la inversión pública, deuda pública y crecimiento económico es diversa, pero sus efectos para economías en desarrollo caracterizaron por la existencia de umbrales en la deuda e incidencias no lineales en el producto (Reinhart y Rogoff, 2010). Empero, eso no significa que los gobiernos siempre tengan presupuestos equilibrados, ya que los recortes en el gasto gubernamental para infraestructura o para la formación de capital humano resultará contraproducente a largo plazo (Fincke y Greiner, 2015).

Si bien existen estudios que determinaron la influencia de la inversión y la deuda gubernamental en la producción a nivel estatal, a partir de distintos modelos para datos panel (Rodríguez y Azamar, 2013; Sánchez y García, 2016; García, 2019), los cuales muestran una relación positiva entre la inversión y el producto y de una relación negativa entre la deuda y el producto. Más recientemente, Benavides *et al.* (2021) identifican una relación de largo plazo entre el PIB y la inversión pública en términos *per cápita*, a través de un modelo VAR para datos panel en el periodo 1989-2019.

En nuestro caso, encontramos que los coeficientes de largo plazo para el modelo PMG son positivos y estadísticamente significativos, lo que concuerda con los resultados encontrados por Benavides *et al.* (2021). Podemos decir que se confirma una relación positiva entre la inversión y la deuda pública local con el ingreso *per cápita* estatal. Que el crecimiento de la inversión pública es al menos dos veces la tasa de la deuda pública, pero que en el largo plazo ambas variables incrementan el producto.

Sin embargo, las estimaciones de los coeficientes de corto plazo de las variables exhiben dinámicas heterogéneas a nivel estatal, por un lado, la inversión pública incide de manera negativa sobre el PIB *per cápita* en Baja California Sur, Colima, Jalisco, San Luis Potosí, Yucatán y Tamaulipas; pero en Coahuila y Nayarit tiene efectos positivos. En el caso de la deuda pública, la evidencia empírica sugiere que Campeche, Coahuila, Nayarit y Jalisco disminuye el nivel de producción.

En lo que respecta al financiamiento de la inversión pública, tanto los impuestos como la deuda pública inciden negativamente en el largo plazo, no obstante, al caracterizar la dinámica de corto plazo, en entidades como Yucatán y Veracruz la deuda pública contrae la inversión; y en estados como Aguascalientes, Coahuila, Colima, Durango, Hidalgo y San Luis su influencia es positiva. Por otro lado, la evidencia esboza una relación positiva entre los impuestos y la inversión pública en Aguascalientes, Chiapas, Guanajuato y el Estado de México.

Dicho lo anterior, la evidencia empírica nos sugiere que a nivel local existe una gran variabilidad de las políticas de inversión y deuda en el corto plazo, aunque exista una convergencia en el largo plazo; cuestiones que podrían explicarse por gestiones ineficientes o irresponsables de los recursos públicos de las entidades federativas (Sovilla *et al.*, 2018).

Los hallazgos de esta investigación aportan evidencia relevante para la formulación de políticas económicas a nivel estatal. La confirmación de una relación positiva entre la inversión y la deuda pública local con el ingreso *per cápita* estatal resalta la necesidad de gestionar eficientemente estos recursos para fomentar

el crecimiento económico sostenido. Sin embargo, la heterogeneidad observada en los efectos de corto plazo sugiere que no todas las entidades federativas experimentan los mismos beneficios, lo que implica que el impacto de estas políticas depende en gran medida del contexto local y de la calidad de su implementación. Para los tomadores de decisiones, estos resultados enfatizan la importancia de evaluar cuidadosamente las estrategias de financiamiento y la sostenibilidad de la deuda pública, evitando escenarios donde un uso ineficiente de los recursos genere efectos adversos en el corto plazo. Además, la convergencia de los efectos a largo plazo sugiere que una planificación fiscal responsable y una inversión pública orientada a mejorar la infraestructura y la productividad pueden ser herramientas clave para promover el crecimiento.

Este estudio presenta limitaciones que abren futuras líneas de investigación. Se centró en la inversión y deuda pública como determinantes del crecimiento económico estatal, dejando fuera factores como la calidad institucional o la infraestructura. Aunque el enfoque de datos panel capturó dinámicas subnacionales, características específicas de los estados pudieron generar sesgos. No se consideraron umbrales críticos o efectos no lineales, lo que limita el entendimiento de sus dinámicas complejas. Futuras investigaciones podrían incluir variables institucionales, explorar umbrales de deuda e inversión mediante modelos no lineales y analizar cómo la asignación sectorial del gasto afecta el crecimiento. También es relevante estudiar los impactos post-COVID-19 y la interacción con factores externos, como el comercio internacional o la inversión extranjera.

REFERENCIAS

- Abiad, A., Furceri, D. y Topalova, P. (2016). The Macroeconomic Effects of Public Investment: Evidence from Advanced Economies. *Journal of Macroeconomics*, 50, 224–40. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2016.07.005>
- Agarwal, M. y Ansari, S. (2022). Impact of Public Debt on the Economic Growth of Subnational Economies in India. *Economic & Political Weekly*, 57(21), 49. <http://doi.org/10.31039/jomeino.2022.6.2.2>
- Akanbi, A. y Olaoluwa, S. (2022). Impact of Sub National Public Debt on Economic Growth in Nigeria. *Journal of Management, Economics, & Industrial Organization (JOMEINO)*, 6(2). <https://doi.org/10.31039/jomeino.2022.6.2.2>
- Ardagna, S., Caselli, F. y Lane, T. (2007). Fiscal Discipline and the Cost of Public Debt Service: Some Estimates for OECD Countries. *The B.E. Journal of Macroeconomics*, 7(1). <https://doi.org/10.2202/1935-1690.1417>
- Aschauer, D. (1989). Is Public expenditure Productive? *Journal of monetary economics*, 23(2), 177-200. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0)
- Asteriou, D., Pilbeam, K. y Pratiwi, C. (2021). Public debt and economic growth: panel data evidence for Asian countries. *Journal of Economics and Finance*, 45(2), 270-287. <https://doi.org/10.1007/s12197-020-09515-7>
- Blanchard, O. (2019). Public debt and low interest rates. *American Economic Review*, 109(4), 1197-1229. <https://www.doi.org/10.1257/aer.109.4.1197>
- Barro, R. (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy*, 98(S5), 103-125. <https://doi.org/10.1086/261726>
- Benavides, D., González, M. y Hernández, J. (2021). Gasto en inversión pública y crecimiento económico estatal en México: implicaciones para la recuperación económica post-COVID-19. *Contaduría y administración*, 66(5), 1-31. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.450>
- Bhimjee, D. y Leão, E. (2020). Public Debt, GDP and the Sovereign Debt Laffer Curve: A Country-Specific Analysis for the Euro Area. *Journal of International Studies*, 13(3), 280–295. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2020/13-3/18>

- Boskin, M. (2020). Are Large Deficits and Debt Dangerous? *AEA Papers and Proceedings*, 110, 145-48. <https://www.doi.org/10.1257/pandp.20201103>
- Codogno, L., Favero, C. y Missale, A. (2003). Yield spreads on EMU government bonds. *Economic policy*, 18(37), 503-532. https://doi.org/10.1111/1468-0327.00114_1
- Diamond, P. (1965). National debt in a neoclassical growth model. *The American Economic Review*, 55(5), 1126-1150. <https://www.jstor.org/stable/1809231>
- Durand, L., Espinoza, R., Gbohoui, W. y Sy, M. (2021). Crowding In-Out of Public Investment. En F. Cerniglia, F. Saraceno, y A. Watt (Coords.), *The Great Reset: 2021 European Public Investment Outlook* (pp. 107–126). Cambridge: UK.
- Elmendorf, D. y Mankiw, G. (1999). Government debt. En Taylor J. y Woodford, M. (Eds.), *Handbook of Macroeconomics* (pp. 1615–1669). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Finn, M. (1993). Is all Government Capital Productive? *Economic Quarterly*, 79(4). Federal Reserve Bank of Richmond, 53-80.
- Fincke, B. y Greiner, A. (2015). On the relation between public debt and economic growth: an empirical investigation. *Economics and Business Letters*, 4(4), 137–150. <https://doi.org/10.17811/ebl.4.4.2015.137-150>
- Fosu, A., Getachew, Y. y Ziesemer, T. (2016). Optimal public investment, growth, and consumption: evidence from African countries. *Macroeconomic Dynamics*, 20(8), 1957-1986. <https://doi.org/10.1017/S1365100515000206>
- Funashima, Y. y Ohtsuka, Y. (2019). Spatial crowding-out and crowding-in effects of government spending on the private sector in Japan. *Regional Science and Urban Economics*, 75, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2019.01.008>
- Furceri, D. y Li, B. (2017). The Macroeconomic (and Distributional) Effects of Public Investment in Developing Economies. *IMF Working Paper* 17/217, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Galí, J., López, J. y Vallés, J. (2007). Understanding the effects of government spending on consumption. *Journal of the european economic association*, 5(1), 227-270. <https://doi.org/10.1162/JEEA.2007.5.1.227>
- García, M. (2019). Efectos de la deuda pública subnacional en la inversión pública productiva en México. *Análisis económico*, 34(87), 199-222.
- Gupta, S., Kangur, A., Papageorgiou, C. y Wane, A. (2014). Efficiency Adjusted Public Capital and Growth. *World Development*, 57, 164–178. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.11.012>
- He, C. (2017). The Macroeconomic Effect of Public Investment. *Modern Economy*, 8, 1272-1290. <https://doi.org/10.4236/me.2017.811086>
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual based tests for cointegration in panel data. *Journal of econometrics*, 90(1), 1-44. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Kim, T. y Nguyen, Q. (2020). The Effect of Public Spending on Private Investment. *Review of Finance*, 24(2), 415–451. <https://doi.org/10.1093/rof/rfz003>
- Lau, E., Moll, J. y Liew, K. (2022). Debt and economic growth in Asian developing countries. *Economic Analysis and Policy*, 76, 599-612. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.09.011>
- Leão, P. (2013). Effect of Government Spending on the Debt-to-GDP Ratio. *Metroeconomica*, 64(3), 448-465. <https://doi.org/10.1111/meca.12013>
- Lynde, C. y Richmond, J. (1993). Public capital and total factor productivity. *International economic review*, 401-414. <https://doi.org/10.2307/2526921>

- Mandl, U., Dierx, A. y Ilzkovitz, F. (2008). The effectiveness and efficiency of public spending. *Economic Papers*, 301, *European Economy*. European Commission, Brussels.
- Mankiw, N., Romer, D. y Weil, D. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 107(2), 407-437. <https://doi.org/10.2307/2118477>
- Masten, I. y Gnip, A. (2019). Macroeconomic effects of public investment in South-East Europe. *Journal of Policy Modeling*, 41(6), 1179-1194. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2019.05.005>
- Miyamoto, H., Gueorguiev, N., Honda, J., Baum, A. y Walker, S. (2020). Growth Impact of Public Investment and the Role of Infrastructure Governance. En Schwartz, G., Fouad, M., Hansen, T. and Verdier, G. (Eds.), *Well Spent: How Strong Infrastructure Governance Can End Waste in Public Investment*. Washington, DC: International Monetary Fund.
- Murthy, V. y Okunade, A. (2016). Determinants of US health expenditure: Evidence from autoregressive distributed lag (ARDL) approach to cointegration. *Economic Modelling*, 59, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.07.001>
- Otieno, B. (2024). Public debt, investment and economic growth dynamics: Do geographical proximity and spatial spillover effects matter? *Regional Science Policy & Practice*, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.rsp.2024.100059>
- Pérez, J. y Manera, C. (2022). Government public infrastructure investment and economic performance in Spain (1980–2016). *Applied Economic Analysis*, 30(90), 229-247. <https://doi.org/10.1108/AEA-03-2021-0077>
- Pham, T., Mai, B. y Nguyen, T. (2020) “The Impact of Public Debt on Economic Growth of ASEAN + 3 Countries.” *International Journal of Economics and Business Administration*, 8(4), 87–100.
- Pedroni, P. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis. *Econometric Theory*, 20(3), 597–625. <http://www.jstor.org/stable/3533533>
- Pesaran, M. y Shin, Y. (1999). An Autoregressive Distributed-Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis. En S. Strøm (Ed.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium* (pp. 371–413). Chapter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CCOL521633230.011>
- Pesaran, M., Shin, Y. y Smith, R. (1997). *Pooled estimation of long-run relationships in dynamic heterogeneous panels*. University of Cambridge. Department of Applied Economics.
- Pesaran, M., Shin, Y. y Smith, R. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American statistical Association*, 94(446), 621-634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Reinhart, C. y Rogoff, K. (2010). Growth in a Time of Debt. *American Economic Review*, 100(2), 573-578. <https://doi.org/10.1257/aer.100.2.573>
- Rodríguez, A. y Azamar, A. (2013). Crecimiento económico, inversión pública y endeudamiento en las entidades federativas de la República Mexicana. En F. Novelo (Coord.), *El Retorno del Desarrollo* (pp. 343–366). México: Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- Sánchez, I. y García, R. (2016). Public debt, public investment and economic growth in Mexico. *International Journal of Financial Studies*, 4(2), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ijfs4020006>
- Scandizzo, P. y Pierleoni, M. (2020). Short and long-run effects of public investment: Theoretical premises and empirical evidence. *Theoretical Economics Letters*, 10(04), 834-867. <https://www.doi.org/10.4236/tel.2020.104050>

- Sovilla, B., Saragos, A. y Morales, E. (2018). Contradicciones de la descentralización fiscal en México: El caso de Chiapas. *Gestión Y Política Pública*, 27(2), 397–429. <https://doi.org/10.29265/gypp.v27i2.478>
- Srithongrung, A. y Kriz, K. (2014). The impact of subnational fiscal policies on economic growth: A dynamic analysis approach. *Journal of Policy Analysis and Management*, 33(4), 912-928. <https://doi.org/10.1002/pam.21784>
- Srithongrung, A. y Sánchez, I. (2015). Fiscal policies and subnational economic growth in Mexico. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 5(1), 11-22. <https://doi.org/10.1002/pam.21784>
- Turnovsky, S. (1997). Fiscal policy in a growing economy with public capital. *Macroeconomic Dynamics*, 1(3), 615–639. <http://doi.org/10.1017/S1365100597004045>
- Unsal, M. (2020). Crowding- out effect: Evidence from OECD countries. *Istanbul Journal of Economics*, 70(1), 1-16. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2020-0001>
- Vaca, J., Vaca, G. y Mora, C. (2020). El impacto de la deuda pública en el crecimiento económico: un estudio empírico de México (1994-2016). *Revista de la CEPAL*, 130, 179-194.
- Vagliasindi, M. y Gorgulu, N. (2021). What Have We Learned about the Effectiveness of Infrastructure Investment as a Fiscal Stimulus? A Literature Review. *Policy Research Working Paper Series*, (9796). <https://doi.org/10.1596/1813-9450-9796>
- Vanlaer, W., Picarelli, M. y Marneffe, W. (2021). Debt and Private Investment: Does the EU Suffer from a Debt Overhang? *Open Economies Review*, 32, 789–820. <https://doi.org/10.1007/s11079-021-09621-x>
- Von Hagen, J., Schuknecht, L. y Wolswijk, G. (2011). Government bond risk premiums in the EU revisited: The impact of the financial crisis. *European Journal of Political Economy*, 27(1), 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2010.07.002>

Análisis del cambio estructural en la producción y en el empleo para la economía mexicana 2003-2008-2013: una aproximación con la técnica de descomposición estructural

Analysis of structural change in production and employment in the Mexican economy 2003-2008-2013: an approach using the structural analysis technique

Rosalinda Arriaga Navarrete*

| ***Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: luna@xanum.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9823-4443> |

RESUMEN

Este trabajo analiza la estructura económica de México en el periodo 2003-2013 con el objeto de identificar los efectos de las interrelaciones sectoriales propiciadas por el modelo económico vigente en la producción y el empleo. Con el análisis matricial y la aplicación de un modelo de descomposición estructural se cuantifican los cambios en las interrelaciones mediante el uso de matrices de insumo-producto 2003, 2008 y 2013 para México. El estudio permitió observar la dinámica del modelo de crecimiento hacia fuera, para identificar los factores que impulsaron a los sectores al cambio estructural técnico y de demanda, con los consecuentes efectos positivos o negativos en la contribución al crecimiento de la economía. Los resultados muestran que la contribución al crecimiento y al empleo durante el periodo de estudio muestran una amplia heterogeneidad.

ABSTRACT

This paper analyzes Mexico's economic structure from 2003 to 2013 to identify the effects of sectoral interrelations fostered by the current economic model on production and employment. Using matrix analysis and a structural decomposition model, changes in these interrelations are quantified using input-output matrices for Mexico in 2003, 2008, and 2013. The study allowed us to observe the dynamics of the outward growth model and identify the factors that drove the sectors to undergo technical and demand-related structural change, with the resulting positive or negative effects on their contribution to economic growth. The results show that the contributions to growth and employment during the study period exhibit wide heterogeneity.

*Recibido: 11/julio/2025
Aceptado: 01/marzo/2026
Publicado: 18/mayo/2026*

Palabras clave:

| Matriz insumo producto |
| Empleo | Producción |

Keywords:

| Matriz input-output |
| Employment | Production |

Clasificación JEL | JEL Classification |

C67, E24, L80



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

INTRODUCCIÓN

Las economías requieren insertarse en una senda de crecimiento sostenible que implique generar suficiente empleo para incorporar a las personas al mercado laboral. En México, la adopción del modelo de crecimiento hacia afuera condicionó la dinámica intersectorial, el crecimiento y la capacidad para generar empleo.

Durante el último cuarto del siglo XX, el conjunto de reformas estructurales se orientaron a promover la estabilidad macroeconómica ante los acentuados desequilibrios inflacionarios, fiscales, externos y de baja competitividad. Las medidas instrumentadas consistieron en una mayor

apertura comercial, privatización de empresas estatales, la autonomía del banco central, el cambio de régimen de tipo de cambio y la reducción del déficit fiscal. De tal manera que el papel del Estado en la economía quedó reducido, otorgando el protagonismo al sector privado. En este sentido, el mecanismo del mercado adaptaría la estructura de la economía y con ello la política implementada estaría orientada a promover la eficiencia de los factores productivos (Trejo y Andrade, 2013).

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es analizar, a partir de un modelo de descomposición estructural, los cambios en las interrelaciones mediante el uso de matrices de insumo-producto para México, se utilizan dos periodos 2003-2008 y 2008-2013 y la premisa del contrafactual. Este procedimiento permite comparar los resultados para identificar qué pasaría si se hubiera mantenido la estructura económica de referencia; o bien, cuáles son los resultados de las políticas económicas adoptadas que impulsaron el protagonismo de ciertos sectores en la economía.

El trabajo se organiza como sigue, la primera sección hace referencia al análisis estructural y su contexto histórico para México; la segunda, presenta diversos trabajos similares en el objetivo y la aplicación metodológica propuesta; la tercera presenta la metodología y la organización de los datos; por último, se analizan los resultados.

I. CONSIDERACIONES CONCEPTUALES E HISTÓRICAS

La estructura de una economía hace referencia a cómo se organizan e interrelacionan los sectores de actividad para generar la producción de bienes y servicios. Esa estructura determina el crecimiento y desarrollo económicos, y a su vez, se modifica conforme la economía en cuestión avanza. La estructura de las economías ha sido un tema recurrente en el análisis del desarrollo económico, por lo que se han propuesto distintas aproximaciones para entender los factores que inciden en ella, como la dotación de recursos naturales, el grado de desarrollo, las políticas económicas que se instrumentan entre otros.

Dado que la estructura de una economía cambia con el tiempo, se ha acuñado el término cambio estructural para destacar las modificaciones ocurridas y que repercuten en la especialización productiva. De acuerdo con Chenery (1979), el desarrollo económico puede tratarse como un conjunto de cambios interrelacionados en la estructura de una economía, que son necesarios para su crecimiento continuo. Esos cambios incluyen modificaciones desde la composición de la demanda, la producción y el empleo, la estructura del comercio exterior y los flujos de capital.

En este contexto, el modelo insumo producto se ha utilizado como una de las principales herramientas para examinar el cambio estructural de las economías. Sea para analizar cómo cambia una economía en el tiempo o cómo difieren o se asemejan las estructuras entre países, el modelo insumo producto aporta evidencia del cambio estructural y de su relación con el crecimiento y desarrollo. El análisis de descomposición estructural (SDA por sus siglas en inglés) se convirtió en una de las técnicas más utilizadas porque permite descomponer el cambio en una serie de factores de interés. Esta posibilidad vincula el SDA con el diseño de medidas de política económica para impulsar o ralentizar ciertos factores y con ello promover un cambio más equilibrado o con mayores efectos positivos.

El vínculo entre el SDA y el diseño de políticas para promover ciertos tipos de cambios es usual. Lo anterior conlleva a distintas opciones en cuanto a qué sector de la economía debe hacerse cargo del diseño e implementación de las medidas necesarias para garantizar un cambio estructural con expresiones positivas en materia de crecimiento y desarrollo económicos.

El SDA concentraba sus opciones de política por el lado de la demanda; no obstante, desde el lado de la oferta también se plantearon, aunque no necesariamente vinculadas al SDA. También se distingue el énfasis en que sea el sector público o el sector privado el que se encargue de conducir el cambio estructural. En la economía mexicana, el Estado quedaba reducido a promotor de estas medidas y cedía el papel principal al sector privado (Arroyo *et al.*, 2018). En este marco, los modelos multisectoriales, como el análisis insumo producto perdieron relevancia, por lo que se aceptaba la idea de que no era necesaria una política industrial que identificara qué sectores y cómo debían ser impulsados para generar un mayor crecimiento económico. En cambio, se confiaba en que el mecanismo de mercado, ajustaría la estructura de la economías y las características de sus agentes.

Existe consenso en que esa perspectiva de la política económica guió las medidas adoptadas en México, aunque desde entonces se reconocía que ese tipo de política no era la que había ayudado a las economías del sudeste asiático a lograr cambios estructurales favorables al crecimiento y desarrollo (Stiglitz, 1996 y Chang, 2000). Incluso en un trabajo reciente Juhász *et al.* (2023) señalan que los gobiernos que abiertamente se oponían al diseño e implementación de políticas industriales como Reagan en Estados Unidos, Pinochet en Chile o Thatcher en UK en algún momento instrumentaron medidas que podían encajar como política industrial.

En el escenario de los cambios estructurales de finales del siglo XX, la economía mexicana no había logrado regresar a tasas de crecimiento sostenido similares a las registradas antes de los años ochenta. Ello dio pie a las llamadas políticas de cambio estructural de segunda generación, en las que se mantuvieron las medidas de la anterior generación, pero ahora combinadas con un nuevo rol para la política económica. Stiglitz (2003) definió ese nuevo rol como uno en el que el sector público busca un gasto productivo, en el que la política monetaria también apoya los cambios en la estructura productiva de tal forma que coexistan procesos de estabilización de corto plazo con equilibrio flexible a largo plazo.

El modelo de crecimiento basado en el dinamismo de la apertura comercial, no propició un encadenamiento industrial nacional, generando una dependencia de insumos intermedios y tecnología importada, configurando un comercio intraindustrial. Históricamente, los modelos de desarrollo en México han tenido diferentes niveles de encadenamiento interindustrial, en el modelo primario exportador, el encadenamiento productivo era débil, porque los enclaves productivos no vincularon su crecimiento hacia otros sectores de actividad económica (Calva, 2010). En el modelo sustitutivo de importaciones, dicho encadenamiento fue más efectivo, al fomentar el desarrollo de industrias nacionales; sin embargo, no se pudo avanzar a niveles de industrialización avanzados, por la dependencia de insumos y equipo importado, con un sector exportador poco dinámico que permitiera financiar las importaciones. Finalmente, en el último modelo exportador, existe una fuerte dependencia por insumos y maquinaria importada para terminar o complementar los procesos productivos en el país. En México, lo apunta Capdevielle (2005), las industrias más globalizadas y técnicamente más avanzadas, electrónica y automotriz, hacen un menor uso de insumos nacionales; frente a la industria de la confección, con un mayor empleo de insumos nacionales (Castro, 2015:59).

Por ello, el cambio estructural del sector externo prioriza que el mercado asigne los recursos y las actividades productivas del país y con ello propicia la debilidad estructural del capital industrial y deja de ser el motor que dinamiza a la economía. Esto distorsiona el mercado laboral, desplazando empleo industrial hacia los servicios. En este sentido, los requerimientos en términos técnicos y de empleo por parte de las industrias más productivas y globalizadas han fomentado la heterogeneidad estructural (Castro, 2015:61).

Los cambios estructurales que sean vinculantes con crecimientos positivos y sostenidos requieren que el impulso de la demanda final permita la articulación del entramado productivo, que aumenten la productividad y la absorción del empleo de calidad con la consecuente mejora salarial. La experiencia asiática evidencia

que el impulso a la productividad es una condición para conquistar los mercados mundiales, para lo cual se requiere el desarrollo de la industria. En las últimas décadas, China y los países asiáticos han transformado su estructura económica con altas tasas de crecimiento, lo que muestra una clara asociación entre cambio estructural y crecimiento positivo (Calderón-Villarreal y Hernández-Bielma, 2016).

De esta manera, el cambio estructural se concibe como una transformación de los componentes que inciden en la acumulación de factores productivos tales como el trabajo, el capital y el cambio tecnológico, principalmente. Para lograr esta transformación es necesario la coordinación de la política económica fiscal y monetaria (Hernández, 2018)

Asimismo, los cambios estructurales suponen un proceso de creación y destrucción de los procesos productivos, basados en el cambio tecnológico y en la aplicación de políticas económicas que promuevan el crecimiento e impulso en el empleo. En particular, las políticas industriales pueden contribuir a la mejora y fortalecimiento del aparato productivo.

Lo expuesto anteriormente presentó el contexto e implicaciones de los cambios estructurales en México a partir de la apertura comercial, con especial énfasis en el periodo 2003-2014.

El “análisis de descomposición estructural”, propuesto inicialmente por Chenery, Shishido y Watanabe (1962), a partir del cual ha sido continuado por diversos autores, entre los que están Carter (1970), Dervis *et al.* (1982), Rose y Casler (1996), Rørmose (2011) y Skolka (1989), quienes han empleado esta metodología para estudiar las diferencias tecnológicas entre dos economías o el cambio técnico en un país (Aroche, 2021).

Aroche (2021: p.144) citando a Chenery *et al.* (1962) señala que los autores estudian el cambio estructural del Japón entre 1914 y 1954 y conjeturan que éste ocurre como resultado de cuatro factores: el cambio en la composición de la demanda interna, el cambio en el volumen de las exportaciones, el cambio en el volumen de las importaciones y los cambios en la tecnología empleada en el sector productivo. A fin de cuantificar tales factores, proponen un modelo Insumo-Producto (IP) basado en las diferencias entre las matrices de requerimientos directos e indirectos de insumos en dos periodos. Estas diferencias pueden atribuirse a los cambios técnicos o la demanda final, la cual puede descomponerse entre el consumo privado, el consumo del gobierno y la inversión. Miller y Blair (2009) advierten que las diferencias entre las matrices técnicas observadas, así como las diferencias en la composición y en el valor de la demanda final pueden descomponerse en un gran número de variables, de donde derivaría un número muy grande de posibles arreglos para medir el cambio estructural en una economía.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Existe un conjunto de trabajos que utilizan el análisis SDA para conocer los factores que explican los cambios en diversas variables. Para explicar, por ejemplo, las variaciones del empleo atendiendo las cualificaciones laborales para un conjunto de países (Sesso *et al.*, 2021), el análisis regional de los efectos de los cambios tecnológicos (Yaghoubi & Hosseinzadeh, 2020)); incluso, los cambios en el empleo por unidad de variación en las exportaciones (Murillo *et al.*, 2018).

Otro conjunto importante de estudios se concentran en un sector específico; por ejemplo, los que analizan la importancia de las manufacturas y los servicios, para distinguir entre la intensidad tecnológica media-alta para el caso de Brasil y México (Alves, 2022), y los efectos de las Tecnologías de la Información y Telecomunicación en la dinámica económica (Niu *et al.*, 2022).

En línea con lo anterior, diversas perspectivas utilizan SDA para conocer los cambios en la huella de carbono atribuible a cada sector productivo (Accorsi *et al.*, 2018), incluso a partir de un Análisis multirregional que busca analizar la intensidad de las emisiones de CO₂ (Wang *et al.*, 2019). En este contexto, a continuación se presenta un conjunto de trabajos afines para los propósitos de esta investigación. Madariaga (2018), analiza los cambios sectoriales y ocupacionales del empleo en España, durante el periodo 1995-2005 caracterizado por un crecimiento anual del 3.5% de la economía española y un aumento del empleo en más de cinco millones. La dinámica de la demanda final, los requisitos laborales vinculados a la tecnología y las instituciones del mercado laboral impulsaron principalmente los cambios en el empleo. El autor analiza el crecimiento del empleo en el marco insumo-producto y SDA. El primer modelo SDA se centra en el cambio de empleo sectorial, que se desglosa en tres efectos: requisitos de mano de obra, cambio técnico y demanda final. Los resultados del modelo son que el crecimiento del empleo fue mayor en el primer subperiodo (1995-2000), con un aumento del 24.4%, mientras que en el segundo subperiodo (2000-2005) creció 15.25%.

Flores, *et al.* (1995) estudian la relaciones que subyacen en la incorporación de tecnologías al proceso productivo y sus impactos sobre el empleo para la economía vasca. El método utilizado para medir cómo se combina el factor trabajo en los procesos productivos es el que proporciona el análisis insumo-producto. Para medir las causas de la variación en el empleo aplican la técnica SDA para entender que los cambios en la estructura ocupacional de una economía son el resultado del cambio tecnológico y de dos factores importantes: la estructura de la demanda y el cambio en el nivel de la demanda o efecto del crecimiento económico. El primero de ellos alterará la cantidad de empleo y su composición como consecuencia del cambio relativo en el peso de los diferentes tipos de demanda de bienes finales. Los autores concluyen que el cambio técnico y los requerimientos laborales de la economía vasca en el periodo 1990-1995 es que las nuevas tecnologías afectaron negativamente a los empleos de baja calificación.

Irizarry y Ruíz (2008) en su estudio analizan la transformación estructural en la economía de Puerto Rico, mediante el análisis SDA. Utilizan las matrices para los años 1972, 1982 y 1992; parten de la hipótesis de que los cambios en la producción interindustrial durante el proceso de desarrollo económico de Puerto Rico fueron producto de cambios en la demanda y estructurales; estos cambios afectan la integración sectorial de la economía y la capacidad potencial para crear empleos directos e indirectos. Sus resultados muestran que la economía de Puerto Rico ha experimentado pocos cambios estructurales, los cuales fueron menores durante el periodo 1982-1992 en relación al periodo del 1972-1982. Los aumentos en producción fueron generados principalmente por cambios en la demanda, los cambios estructurales en su mayoría fueron negativos, lo que impactó negativamente en la producción potencial.

Tin (2014) cuantifica las fuentes de los cambios laborales en el sector manufacturero para la economía de Malasia. Mediante el análisis SDA identifica los cambios laborales atribuibles al cambio técnico y cambios en la estructura de la demanda final. Utiliza un modelo SDA con el uso de las matrices insumo-producto de 1978, 1991 y 2000. El resultado de este estudio indica que las causas de los cambios estructurales sobre el efecto laboral están impulsadas por cambios en la estructura de la demanda final. El análisis por subperíodos, muestra que hay cambios en la estructura de la demanda interna, fundamentalmente por las exportaciones.

Aroche (2021) aborda las causas del cambio estructural en la economía mexicana en la década de 1950, la cual se caracterizó por el desarrollo de los sectores industrial y de servicios. Los resultados permiten identificar que la dinámica del mercado interno y el consumo privado fue fundamental en el crecimiento económico. Aplicando el análisis SDA, identifica que el crecimiento del producto bruto en la economía se explica mayormente por el crecimiento de la demanda final (91%) y escasamente por el cambio tecnológico (9%), durante el período 1950 y 1960. En una década de rápida industrialización y crecimiento del producto,

el gasto público fue cuantitativamente más reducido; la inversión de capital tuvo un papel acotado y las exportaciones estimularon el cambio estructural y el cambio tecnológico, pero con una participación menor.

En esta sección, se presentaron diferentes trabajos que abordan el análisis SDA para distintas economías y bajo diversas perspectivas que permiten por un lado, analizar las razones de la generación de empleo y los cambios en su demanda; por otro, la estructura y volumen de la producción representada por la demanda final, además de la productividad. Es en este sentido, que la presente investigación difiere de las arriba señaladas porque no sólo muestra los cambios estructurales y el potencial de producción y empleo, sino además es de interés la incidencia del cambio si se mantiene la estructura productiva fija de cierto año (contrafactual).

III. METODOLOGÍA Y DATOS

Un modelo simple de insumo-producto es un marco útil para descomponer los diferentes factores que conducen al crecimiento y al cambio estructural en el sistema de producción.

Estos modelos expresan las relaciones técnicas entre los diferentes sectores económicos, de manera tal, que los coeficientes técnicos son los eslabones que expresan las conexiones y los cambios de esas relaciones intersectoriales.

La matriz insumo-producto (MIP) muestra las relaciones económicas intersectoriales, la estructura de costos por actividad económica y la composición del gasto final de los diversos agentes económicos, tales como hogares, empresas, gobierno, así como el resto del mundo. Esta información permite medir el impacto sobre los sectores productivos cuando se presentan cambios en la demanda final de bienes y servicios.

El modelo abierto de Leontief expresa en forma matricial el sistema de ecuaciones de la siguiente forma:

$$X = AX + Y$$

Donde:

X : valor bruto de la producción

A : matriz de coeficientes técnicos

AX : demanda intermedia

Y : demanda final, que incluye: Consumo (C), Inversión (I), Gasto público (G), Exportaciones netas (X-M).

La matriz de requerimientos directos se denomina A , dado que los elementos de esta matriz indican la proporción en la que un insumo es demandado para generar una unidad de producto. Entonces, podemos obtener la expresión canónica del modelo de Leontief, señalada por Schuschny (2005, p.14):

$$X = AX + Y$$

$$X \equiv \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix};$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix};$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 + G_1 + Z_1 + E_1 \\ \vdots \\ I_n + G_n + Z_n + E_n \end{pmatrix}$$

$$X = (I - A)^{-1} \cdot y = B \cdot Y$$

donde la matriz $B = (b_{ij}) = (I - A)^{-1}$ es la matriz de Leontief o de requerimientos totales (directos e indirectos) y relaciona la producción de cada sector X_i con la demanda final neta de importaciones, variable considerada como exógena. Cada elemento b_{ij} de la matriz de Leontief, representa la cantidad de producción que deberá realizar el sector i , para satisfacer, *ceteris paribus*, una unidad de demanda final neta de importaciones del producto j -ésimo y, como es constante, da cuenta de la variación en el valor de la producción del sector i -ésimo como consecuencia de la variación de la demanda final neta de importaciones del sector j -ésimo, esto es: $b_{ij} = \frac{\partial Y_i}{\partial X_j} \equiv dY_i / dX_j$, los elementos b_{ij} de la matriz inversa cuantifican el impacto sobre la industria i -ésima de un cambio en la demanda final neta de importaciones del sector j -ésimo. Estos coeficientes capturan en un solo número efectos multiplicativos directos e indirectos, ya que el producto de cada sector afectado deberá impactar no solo sobre sí, sino también sobre los demás sectores que lo utilizan como insumo. (Arriaga *et al.* 2019, 2024) Schuschny (2005).

Los vínculos de la matriz A (matriz de coeficientes técnicos) y de la matriz B (matriz inversa) se relacionan con los cambios técnicos y, por lo tanto, son un aspecto fundamental para el análisis dinámico del cambio estructural. El análisis SDA da información sobre los cambios en estos coeficientes y su impacto en el crecimiento y desarrollo de la economía. Esta información es útil para identificar los cambios más importantes y para explorar las posibles razones del cambio, los cuales se originan de dos fuentes principales, la demanda final y los cambios en los coeficientes interindustriales o cambios técnicos estructurales.

El uso de SDA se ha convertido en una metodología frecuente por varias razones, al respecto Tin (2014) destaca las siguientes: en primer lugar, porque describe el desarrollo estructural de un sistema de producción al separar algunos componentes, para explicar de mejor manera los cambios estructurales en dos periodos. Sin embargo, no explica por qué se han producido cambios estructurales, ni las fuerzas impulsoras detrás de los cambios estructurales y el proceso dinámico del desarrollo no se analizan, ya que la técnica se basa en el análisis estático comparativo. En segundo lugar, los coeficientes técnicos son los eslabones que transmiten los cambios entre sectores; los vínculos están relacionados con los cambios técnicos y, por lo tanto, permite fundamentar el análisis dinámico del cambio estructural. En tercer lugar, la técnica de descomposición examina los cambios en el coeficiente y no asume coeficientes constantes para el año fuera del examen. Finalmente, el uso cada vez más generalizado de SDA, es que es una alternativa a la estimación econométrica. El análisis de temas similares mediante la econometría requiere una serie temporal amplia para la producción e insumos intermedios. En contraste, SDA requiere solo dos tablas insumo-producto: una para el año inicial y otra para el año final del análisis.

Datos

Un aspecto fundamental para el análisis propuesto fue la comparación matricial, con el fin de homologar los sectores económicos, dado que para comparar 2003-2008 y 2008-2013, se usa como referente de agregación la matriz de 2008. De esta manera, en la matriz de 2003 los sectores transportes (48) y correos y almacenamiento (49), se agregan como transportes, correos y almacenamiento (48-49). En 2013 se agregan los sectores comercio al por mayor (43) y comercio al por menor (46), manteniendo en ambos ajustes

sectoriales el criterio de agregación que se tiene en 2008, lo cual permite compatibilizar las estructuras económicas sectoriales de México a 19 sectores.¹

En este apartado se expone la secuencia metodológica que se sigue para realizar el análisis de cambio estructural en la economía mexicana mediante una variante del análisis SDA. Como primer paso, es necesario expresar la Matriz Insumo Producto (MIP) de cada año a precios de un mismo año, en este caso precios constantes de 2008. Para ello, se sigue la metodología GRAS propuesta por Temurshoev *et al.* (2013) y desarrollada en Pérez-Santillán (2017). Esta metodología requiere contar con vectores de consumo intermedio doméstico real y vectores de demanda intermedia doméstica real para deflactar la matriz doméstica (Ad). Estos vectores se construyeron a partir de información disponible en las Cuentas de bienes y servicios, base 2008, oferta y utilización total de bienes y servicios, por sector de actividad económica.

Una vez contruidos esos vectores, se deflactaron las matrices domésticas correspondientes a los años 2003 y 2013, con lo que quedaron expresadas a precios de 2008. Con esas matrices fue posible aplicar la técnica SDA, que enseguida se explica. Esta técnica fue desarrollada por Torres (1978) y aplicada en algunos estudios como Irizarry y Ruiz (2008). En esta descomposición se trata de establecer cómo los cambios en la demanda final o los cambios estructurales o tecnológicos determinan los cambios en la producción. Se utiliza el método de análisis contrafactual para mostrar qué hubiera pasado con el nivel de producción de cierto año de interés si se mantienen la estructura económica expresada en la matriz de un año distinto, mientras se mantiene la demanda final del año de interés. En términos de la producción bruta (X) esto se expresa como sigue:

$$X_{t,h} = (I - A)_{t-n}^{-1} D_t^F \quad (1)$$

En la ecuación (1) la producción hipotética del año t $X_{t,h}$ es resultado de mantener la demanda final del periodo t D_t^F mientras se mantiene una matriz del periodo $t-n$ en la matriz de Leontief, $(I - A)_{t-n}^{-1}$.

La producción hipotética (contrafactual) del periodo t se debe sólo a un cambio en la demanda final del año t . Si se compara esta producción hipotética con la producción observada, el cambio se interpreta que fue originado por cambios en la estructura de producción. Entonces

$$\Delta X_{t-(t-n)}^{CE} = (I - A)_t^{-1} D_t^F - (I - A)_{t-n}^{-1} D_t^F \quad (2)$$

Nótese que la producción observada es: $X_t = (I - A)_t^{-1} D_t^F$

$\Delta X_{t-(t-n)}^{CE}$ representa el cambio en la estructura de producción del periodo $t-n$ al periodo t .

Al análisis puede, además, aplicarse para observar los cambios en el empleo. Se requieren los vectores de coeficientes de empleo del periodo t (N_t) y $t-n$ (N_{t-n}) con elementos $n = \frac{Empleo_{i,t}}{X_{i,t}}$ para el primer vector y $\frac{Empleo_{i,t-n}}{X_{i,t-n}}$ para el segundo, donde el subíndice i indica los sectores de actividad.

La ecuación 3 muestra la diferencia entre el empleo observado en el periodo t y el empleo hipotético o contrafactual si sólo se cambia la demanda final. De esta manera, esa diferencia se atribuye a cambios en la estructura de producción entre t y $t-n$.

$$\Delta L_{t-(t-n)}^{CE} = L_t (I - A)_t^{-1} D_t^F - L_{t-n} (I - A)_{t-n}^{-1} D_t^F \quad (3)$$

Donde L_t se refiere al vector de coeficientes de empleo.

La metodología se aplica para analizar los cambios entre los periodos 2003, 2008 y 2013.

1. Matriz 2003 (20 sectores), 2008 (19 sectores), 2013 (20 sectores).

Para el cambio entre 2003 y 2008 y entre 2008 y 2013:

$$\Delta X_{2008-(2003)}^{CE} = (I-A)_{2008}^{-1} D_{2008}^F (I-A)_{2003}^{-1} D_{2008}^F \quad (4)$$

$$\Delta X_{2013-(2008)}^{CE} = (I-A)_{2013}^{-1} D_{2013}^F (I-A)_{2008}^{-1} D_{2013}^F \quad (4)$$

Para observar los cambios en el empleo:

$$\Delta L_{2008-(2003)}^{CE} = L_{2008} (I-A)_{2008}^{-1} D_{2008}^F - L_{2003} (I-A)_{2003}^{-1} D_{2008}^F \quad (5)$$

$$\Delta L_{2013-(2008)}^{CE} = L_{2013} (I-A)_{2013}^{-1} D_{2013}^F - L_{2008} (I-A)_{2008}^{-1} D_{2013}^F \quad (5)$$

El análisis SDA que se desarrolla en este documento, se complementa con la teoría de grafos, con la intención de aprovechar que las participaciones de los sectores en los cambios resultantes se representen claramente. De acuerdo con Mitchell (2009), los grafos pueden modelar diversos sistemas donde los objetos están interconectados. Específicamente, un grafo es una estructura formada por un conjunto de enlaces que conectan pares de nodos o vértices. Aquí los vértices representan sectores económicos y los enlaces las conexiones entre éstos, además, el grosor del enlace muestra la participación del sector en el cambio en la producción o empleo.

La representación general de un grafo es como sigue:

$$G = (V, E) \quad (6)$$

Donde V es el conjunto de vértices y E representa los enlaces. El tamaño de los vértices lo determina la contribución del sector en el cambio del que se trate y el color la tasa de crecimiento de la variable, evaluando la importancia de cada nodo dentro de un sistema y la relevancia de sus componentes mediante algoritmos (Díaz y Morales, 2023).

IV. RESULTADOS

1. Factores que inciden en el crecimiento de la producción y el empleo: análisis de resultados

Con el objeto de analizar las razones del cambio en la producción y el empleo para el periodo 2003-2013, se presentan dos periodos para la economía mexicana 2003-2008 y 2008-2013; se utiliza un análisis SDA para identificar los factores que inciden en el crecimiento de la producción y del empleo, estos factores se refieren a la demanda y al cambio estructural técnico, en donde la estructura de la demanda final no está desagregada por sus componentes.

El efecto del crecimiento económico, conforme a la metodología propuesta es el efecto que se produce por la interacción entre el cambio técnico y los cambios en la demanda final, al estimar la variación de la producción ante el nuevo valor de la demanda final, manteniendo constante la composición o estructura de la misma en dos años de referencia. Se procede de la misma manera para las estimaciones del empleo. En este documento, el SDA utiliza un elemento contrafactual que permite el análisis comparado.

Producción 2003-2013

El periodo 2003-2008 muestra que, si la estructura de producción de 2003 se hubiera mantenido y sólo modificado la demanda del 2008, la producción se hubiera incrementado 44.4%. Dicha estructura se

modificó en 2008 y con la demanda del mismo año, la producción realmente se incrementó 29.6%, que corresponde al crecimiento del periodo 2003-2008, equivalente a \$4,719,816 millones de pesos. La demanda final aportó el 44.4% (\$7,094,019 millones de pesos), mientras que el cambio estructural técnico tuvo una participación negativa del 14.9% (\$2,374,203). En este sentido, si no hubiera cambio estructural en el periodo 2003-2008, la producción incentivada por el empuje de la demanda final, registraría un aumento superior, esto se debe a que el cambio estructural técnico disminuyó capacidad de crecimiento a la economía.

Los datos del Cuadro 1, señalan que 13 de un total de 19 sectores muestran cambios estructurales técnicos negativos. Existen algunos sectores donde la demanda final no compensó la pérdida en producción, tal es el caso de la Minería, Servicios profesionales y Educativo. Este último, más agravado porque presenta una caída en la demanda final. Los cambios estructurales técnicos negativos son más importantes en los sectores: agricultura, minería, comercio, transportes, servicios financieros, y servicios profesionales. Mientras que el sector manufacturero presenta cambio estructural negativo poco significativo, restando de forma mínima producción potencial.

Algunos sectores presentan cambios estructurales técnicos positivos, estos cambios fueron significativos en los sectores Servicios de Apoyos a los Negocios aportando el 30% y Servicios de Alojamiento y Preparación de alimentos y bebidas, el 8%. En estos y otros sectores la demanda es la responsable del mayor aumento en la producción.

Cuadro 1
México: factores que inciden en el crecimiento de la producción, 2003-2008

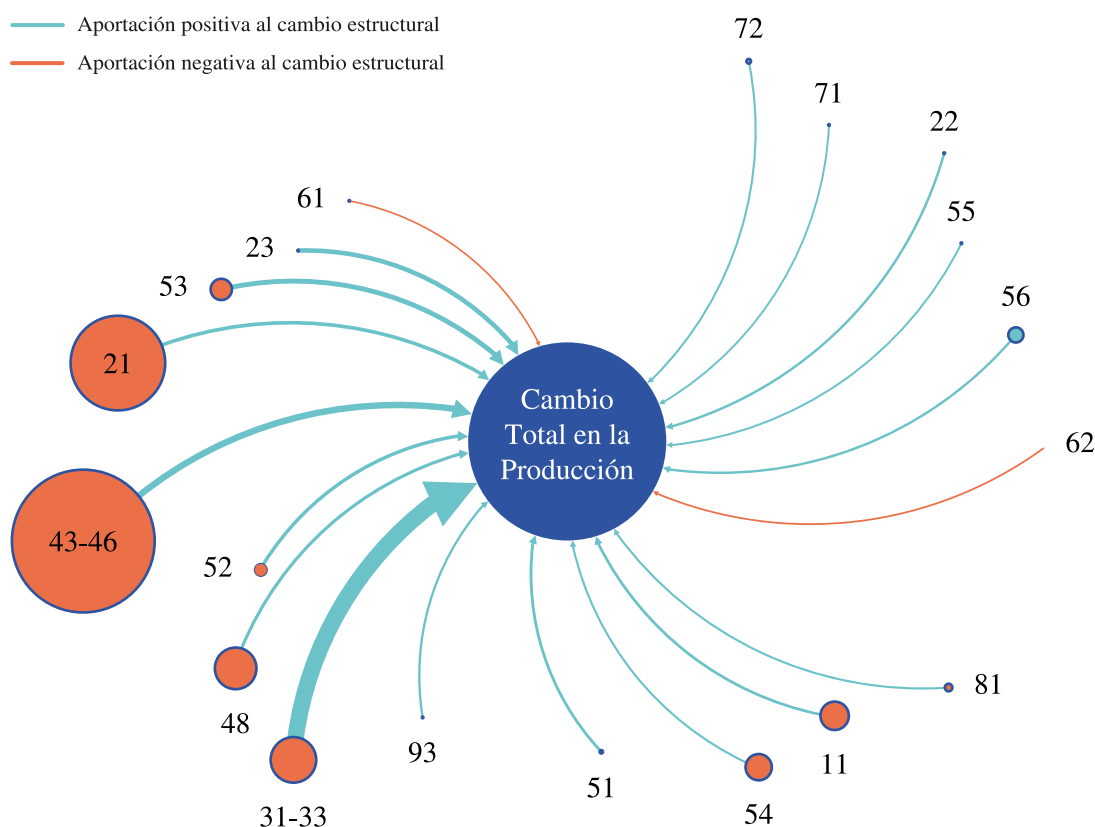
	<i>Aportación al crecimiento de la producción: factores estructurales y de demanda 2008-2013</i>	<i>Cambio en la producción</i>	<i>Cambios estructurales: técnicos</i>	<i>Cambios en la demanda</i>	<i>Crecimiento de la producción 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
11	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	29372	-164814	194186	5.1%	-28%	33.4%
21	Minería	-182619	-556455	373836	-12.9%	-39%	26.4%
22	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	144458	8281	136177	45.9%	3%	43.3%
23	Construcción	562421	-8464	570885	42.6%	-1%	43.3%
31-33	Industrias manufactureras	2728327	-260657	2988984	63.7%	-6%	69.7%
43-46	Comercio	113120	-828220	941341	5.2%	-38%	43.4%
48	Transportes, correos y almacenamiento	37766	-240936	278702	3.4%	-21%	24.8%
51	Información en medios masivos	187428	-19261	206688	59.2%	-6%	65.3%
52	Servicios financieros y de seguros	261984	-75850	337834	77.9%	-23%	100.5%
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	500044	-123451	623495	46.3%	-11%	57.7%
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	-85562	-152403	66841	-18.1%	-32%	14.1%
55	Dirección de corporativos y empresas	39748	391	39357	71.4%	1%	70.7%
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	205686	81024	124663	75.6%	30%	45.8%
61	Servicios educativos	-40335	-7244	-33091	-7.0%	-1%	-5.7%

	<i>Aportación al crecimiento de la producción: factores estructurales y de demanda 2008-2013</i>	<i>Cambio en la producción</i>	<i>Cambios estructurales: técnicos</i>	<i>Cambios en la demanda</i>	<i>Crecimiento de la producción 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
62	Servicios de salud y de asistencia social	-3469	632	-4101	-0.9%	0%	-1.1%
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	26008	436	25572	50.3%	1%	49.5%
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	78920	25079	53841	23.9%	8%	16.3%
81	Otros servicios excepto actividades del Gobierno	16817	-43097	59914	5.0%	-13%	17.9%
93	Actividades del Gobierno y de organismos internacionales y extraterritoriales	99701	-9196	108897	17.9%	-2%	19.5%
SUMA		4719816	-2374203	7094019	29.6%	-15%	44.4%

Fuente: elaboración propia con MIP 2003 y 2008 del INEGI.

Para resumir los cambios en la estructura económica de México en el periodo 2003-2008 se utiliza la representación de un grafo ponderado y dirigido. La estructura de un grafo se compone de nodos (esferas) que representan a los sectores económicos, su tamaño muestra la aportación sectorial al cambio estructural. Por su parte, los enlaces o vínculos revelan los cambios en la demanda por sector y, su efecto en el cambio total en la producción se asocia al grosor del enlace. Finalmente, los colores indican si la participación fue positiva o negativa.

Figura 1
Cambio estructural total en producción 2003-2008



Esfera central = Cambio total en la producción

Tamaño de la esfera = Cambios estructural técnico

Grosor del enlace = Cambios en la Demanda

Fuente: elaboración propia con MIP 2003, 2008 de INEGI.

En la Figura 1 el efecto negativo total del cambio estructural técnico fue de \$2,374,203 millones de pesos, en el que participaron 13 sectores y cuyas principales contribuciones estuvieron a cargo del sector comercio, minería, manufacturas, transportes y servicios profesionales. En cuanto a la contribución del factor cambio en la demanda, los enlaces de las manufacturas y en menor medida el comercio, participó positivamente por encima de todos los demás.

En el periodo correspondiente a 2008-2013, los resultados muestran que, si la estructura de producción de 2008 se hubiera mantenido y se considera la demanda del 2013, la producción se hubiera incrementado 12.5%. Dicha estructura se modificó en 2013 y con la demanda del mismo año, la producción en realidad se incrementó 9.3%, debido a los cambios negativos en los coeficientes técnicos o estructurales de 3.2%. El cambio total en la producción fue positivo 12.5 % (\$1,915,218 millones de pesos), atribuible a la demanda final 9.3% (\$2,576,651), mientras que el cambio estructural técnico implicó una reducción de 3.2% (\$-661.433).

Cuadro 2
México: factores que inciden en el crecimiento de la producción, 2008-2013

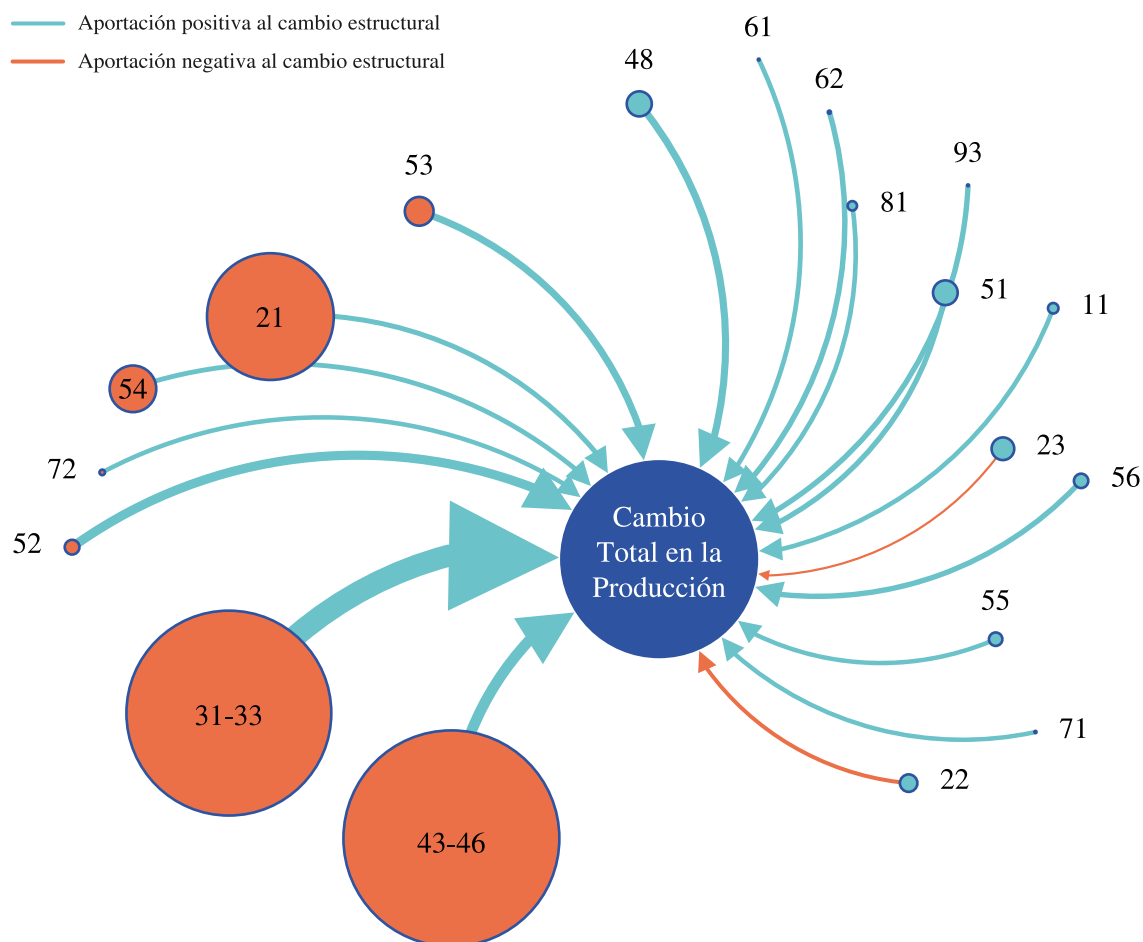
	<i>Aportación al crecimiento de la producción: factores estructurales y de demanda 2008-2013</i>	<i>Cambio en la producción</i>	<i>Cambios estructurales: técnicos</i>	<i>Cambios en la demanda</i>	<i>Crecimiento de la producción 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
11	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	37932	14050	23882	6.2%	2.3%	3.9%
21	Minería	-119664	-168539	48875	-9.7%	-13.7%	4.0%
22	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	6307	23382	-17075	1.4%	5.1%	-3.7%
23	Construcción	-101610	30152	-131762	-5.4%	1.6%	-7.0%
31-33	Industrias manufactureras	869405	-272392	1141797	12.4%	-3.9%	16.3%
43-46	Comercio	135315	-287035	422350	5.9%	-12.6%	18.5%
48	Transportes, correos y almacenamiento	217098	33466	183632	18.7%	2.9%	15.8%
51	Información en medios masivos	96351	32752	63599	19.1%	6.5%	12.6%
52	Servicios financieros y de seguros	295923	-19489	315412	49.5%	-3.3%	52.7%
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	133595	-38137	171732	8.4%	-2.4%	10.9%
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	-24397	-62036	37639	-6.3%	-16.0%	9.7%
55	Dirección de corporativos y empresas	31769	17965	13804	33.3%	18.8%	14.5%
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	90720	19097	71623	19.0%	4.0%	15.0%
61	Servicios educativos	31468	1998	29470	5.9%	0.4%	5.5%
62	Servicios de salud y de asistencia social	80043	4141	75902	21.9%	1.1%	20.8%
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	15793	2965	12828	20.3%	3.8%	16.5%
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	11368	-7128	18497	2.8%	-1.7%	4.5%
81	Otros servicios excepto actividades del Gobierno	36408	12460	23948	10.4%	3.5%	6.8%
93	Actividades del Gobierno y de organismos internacionales y extraterritoriales	71396	898	70498	10.8%	0.1%	10.7%
SUMA		1915218	-661433	2576651	9.3%	-3.2%	12.5%

Fuente: elaboración propia con MIP 2008 y 2013 de INEGI.

En la Figura 2, entre 2008 y 2013, se observa que 7 de los 19 sectores presentan cambios estructurales técnicos negativos. Existen algunos casos donde la demanda final no compensó la pérdida en producción, como es el caso de la minería y los servicios profesionales, el sector comercio presenta un cambio estructural técnico negativo importante. El sector manufacturero también registra un cambio estructural negativo; sin embargo, se compensa con la mayor demanda.

Los sectores que presentan cambios estructurales técnicos positivos son 12 de 19, se puede destacar a los sectores corporativos, medios masivos, electricidad, servicios de apoyo a los negocios, agricultura, construcción, y transportes. Aun cuando en el periodo 2008-2013 existen cambios técnicos positivos para muchos sectores económicos, el cambio total es atribuible a la mayor demanda. Sin embargo, existen sectores en los cuales la disminución de la demanda es muy fuerte como en el sector de la Construcción que no logró compensar el efecto estructural positivo.

Figura 2
Cambio estructural total en producción 2008-2013



Esfera central = Cambio total en la producción **Tamaño de la esfera** = Cambios estructural técnico
Grosor del enlace = Cambios en la Demanda

Fuente: elaboración propia con MIP 2008, 2013 de INEGI.

Empleo 2003-2013

El efecto del crecimiento económico sobre el empleo, consiste en evaluar la variación del empleo resultante de la nueva cuantía de la demanda final, manteniendo constante la estructura y los requerimientos laborales en los dos años de referencia.

El crecimiento económico asociado al avance tecnológico modifica la demanda por factor trabajo en la estructura productiva, reorganiza las necesidades laborales de los diferentes sectores económicos en términos del nivel de conocimientos y habilidades. Por ello, la variación de los requerimientos de empleos y el cambio en la estructura laboral dependen del cambio tecnológico y de la composición de la demanda. Si se modifica la cantidad de empleo requerida para la producción destinada a bienes finales para consumo, exportaciones o algún otro componente de la demanda, impactará en los sectores de acuerdo a la intensidad en el uso del factor trabajo. Flores, *et al.* (1995) destaca que el cambio técnico puede alterar la demanda de trabajo si cambian los coeficientes directos de empleo y la estructura de los insumos intermedios. Así, si los coeficientes directos de empleo se han reducido o si la economía se hace más demandante de insumos intermedios elaborados en actividades económicas menos intensivas en trabajo, contribuyen ambos factores al ahorro global de trabajo.

De acuerdo con Tin (2014), el cambio técnico es uno de los factores importantes del crecimiento de la producción, expresa el progreso tecnológico en una economía, modifica las relaciones intersectoriales y la absorción del empleo. Por lo tanto, el cambio tecnológico puede tener un impacto adverso en los trabajadores de ciertas ocupaciones al hacer que su habilidad particular quede obsoleta.

Entre los resultados más importantes en términos de los factores que explican el cambio en el empleo, el primero de ellos es el efecto del cambio técnico sobre el requerimiento de mano de obra de la economía, que incluye tanto el efecto directo del cambio técnico sobre el requerimiento de trabajo, a través del cambio de los coeficientes directos de insumo de trabajo, como el efecto indirecto del cambio técnico sobre el requerimiento de mano de obra, a través de coeficientes de insumos intermedios cambiantes. El segundo efecto de los cambios son los atribuibles a la estructura de la demanda final.

Es necesario considerar que el cambio técnico altera la demanda laboral por dos efectos, por la variación de los coeficientes directos de empleo y por la variación de la estructura de los insumos intermedios. Si los coeficientes directos de empleo se han reducido o si la economía se hace más demandante de insumos intermedios elaborados en actividades económicas menos intensivas en trabajo, son dos elementos que contribuyen al ahorro de trabajo.

Cuadro 3
México: Factores que inciden en el crecimiento del empleo, 2003-2008

	<i>Aportación al crecimiento del empleo: factores estructurales y de demanda 2003-2008</i>	<i>Cambio en el empleo</i>	<i>Cambios estructurales: técnico y coef. de empleo</i>	<i>Cambios en la demanda (equivalente en empleo)</i>	<i>Crecimiento del empleo 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico y de coef. de empleo</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
11	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	-481792	-2872461	2390669	-6.7%	-40.2%	33.4%
21	Minería	-105869	-212460	106591	-26.3%	-52.7%	26.4%
22	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	7569	-90904	98473	3.3%	-40.0%	43.3%

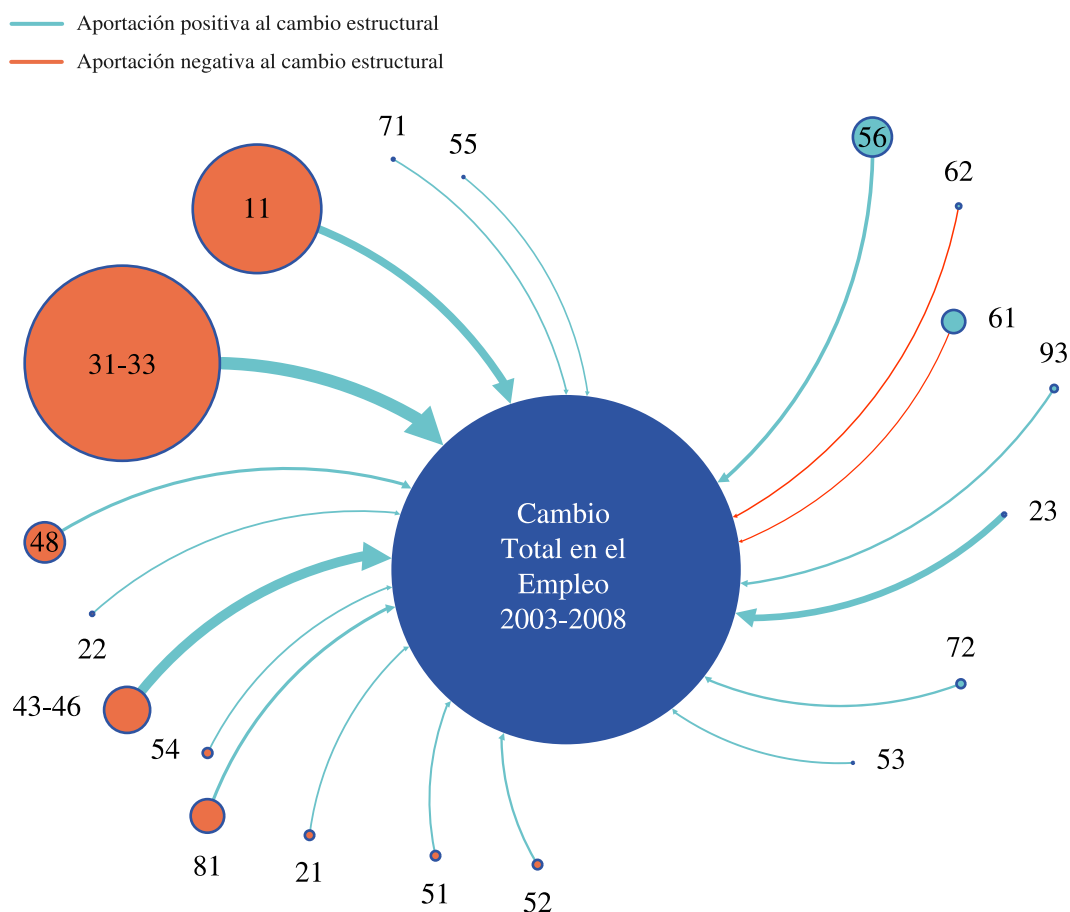
	<i>Aportación al crecimiento del empleo: factores estructurales y de demanda 2003-2008</i>	<i>Cambio en el empleo</i>	<i>Cambios estructurales: técnico y coef. de empleo</i>	<i>Cambios en la demanda (equivalente en empleo)</i>	<i>Crecimiento del empleo 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico y de coef. de empleo</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
23	Construcción	2015008	85643	1929365	45.2%	1.9%	43.3%
31-33	Industrias manufactureras	-237709	-4372819	4135110	-4.0%	-73.7%	69.7%
43-46	Comercio	2082822	-1029968	3112790	29.0%	-14.4%	43.4%
48	Transportes, correos y almacenamiento	-305046	-897614	592568	-12.8%	-37.6%	24.8%
51	Información en medios masivos	-15034	-210853	195819	-5.0%	-70.3%	65.3%
52	Servicios financieros y de seguros	81253	-211760	293013	27.9%	-72.6%	100.5%
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	184886	39951	144935	73.6%	15.9%	57.7%
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	-110968	-220194	109226	-14.3%	-28.4%	14.1%
55	Dirección de corporativos y empresas	-12974	-41455	28481	-32.2%	-102.9%	70.7%
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	1674643	864959	809684	94.7%	48.9%	45.8%
61	Servicios educativos	410369	518067	-107698	21.8%	27.6%	-5.7%
62	Servicios de salud y de asistencia social	104086	115361	-11275	10.3%	11.4%	-1.1%
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	23014	-61182	84196	13.5%	-36.0%	49.5%
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	502849	197226	305623	26.9%	10.5%	16.3%
81	Otros servicios excepto actividades del Gobierno	-134335	-747605	613270	-3.9%	-21.8%	17.9%
93	Actividades del Gobierno y de organismos internacionales y extraterritoriales	502204	162776	339428	28.9%	9.4%	19.5%
SUMA		6184976	-8985291	15170267	15.0%	-21.8%	36.8%

Fuente: elaboración propia con MIP 2003 y 2008 del INEGI.

El Cuadro 3 muestra que, si la estructura de producción de 2003 se hubiera mantenido en 2008 y considera la demanda del 2008, se esperaría que el empleo hubiera aumentado 36.8% (15,170,267 de empleos). Sin embargo, al considerar la estructura de producción del 2008, el empleo solamente aumentó 15% (6,184,976). Lo que evidencia cambios estructurales negativos de 21.8% (8,985,291), en la composición técnica y en los coeficientes de empleo que afectaron la absorción laboral.

Los datos del Cuadro 3, revelan que en 2003-2008, 12 de un total de 19 sectores experimentaron reducciones en el empleo, atribuibles a cambios estructurales negativos que se traducen en pérdidas de empleo sectoriales. La mayor pérdida de empleos por cambio estructural es para la agricultura, industrias manufactureras, comercio y transportes. Mientras que el sector de la construcción, servicios de apoyo a los negocios y Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas presenta cambios positivos en estructura y en demanda (Figura 3).

Figura 3
Cambio estructural total en empleo 2003-2008



Esfera central = Cambio total en la producción

Tamaño de la esfera = Cambios estructural técnico

Grosor del enlace = Cambios en la Demanda

Fuente: elaboración propia con MIP 2003, 2008 de INEGI.

Cuadro 4
México: Factores que inciden en el crecimiento del empleo, 2008-2013

	Aportación al crecimiento del empleo: factores estructurales y de demanda 2003-2008	Cambio en el empleo	Cambios estructurales: técnico y coef. de empleo	Cambios en la demanda (equivalente en empleo)	Crecimiento del empleo 2003-2008	Aportación del cambio estructural: técnico y de coef. de empleo	Aportación del cambio de demanda
11	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	681375	420366	261009	10.2%	6.3%	3.9%
21	Minería	66223	54423	11800	22.3%	18.3%	4.0%

	<i>Aportación al crecimiento del empleo: factores estructurales y de demanda 2003-2008</i>	<i>Cambio en el empleo</i>	<i>Cambios estructurales: técnico y coef. de empleo</i>	<i>Cambios en la demanda (equivalente en empleo)</i>	<i>Crecimiento del empleo 2003-2008</i>	<i>Aportación del cambio estructural: técnico y de coef. de empleo</i>	<i>Aportación del cambio de demanda</i>
22	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	-10863	-2120	-8743	-4.6%	-0.9%	-3.7%
23	Construcción	-913649	-460343	-453306	-14.1%	-7.1%	-7.0%
31-33	Industrias manufactureras	2575448	1648922	926526	45.2%	29.0%	16.3%
43-46	Comercio	1759691	46935	1712756	19.0%	0.5%	18.5%
48	Transportes, correos y almacenamiento	405984	76535	329449	19.5%	3.7%	15.8%
51	Información en medios masivos	1169	-34772	35941	0.4%	-12.2%	12.6%
52	Servicios financieros y de seguros	100335	-96277	196612	26.9%	-25.8%	52.7%
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	191293	143917	47376	43.9%	33.0%	10.9%
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	215001	150698	64303	32.4%	22.7%	9.7%
55	Dirección de corporativos y empresas	7384	3433	3951	27.0%	12.6%	14.5%
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	1252036	736081	515955	36.4%	21.4%	15.0%
61	Servicios educativos	257194	131567	125627	11.2%	5.7%	5.5%
62	Servicios de salud y de asistencia social	339290	107023	232267	30.3%	9.6%	20.8%
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	168700	136803	31897	87.3%	70.8%	16.5%
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	210404	102927	107477	8.9%	4.3%	4.5%
81	Otros servicios excepto actividades del Gobierno	2382570	2158344	224226	72.5%	65.6%	6.8%
93	Actividades del Gobierno y de organismos internacionales y extraterritoriales	337311	97064	240247	15.0%	4.3%	10.7%
SUMA		10026896	5421528	4605368	21.1%	11.4%	9.7%

Fuente: elaboración propia con MIP 2008 y 2013 de INEGI.

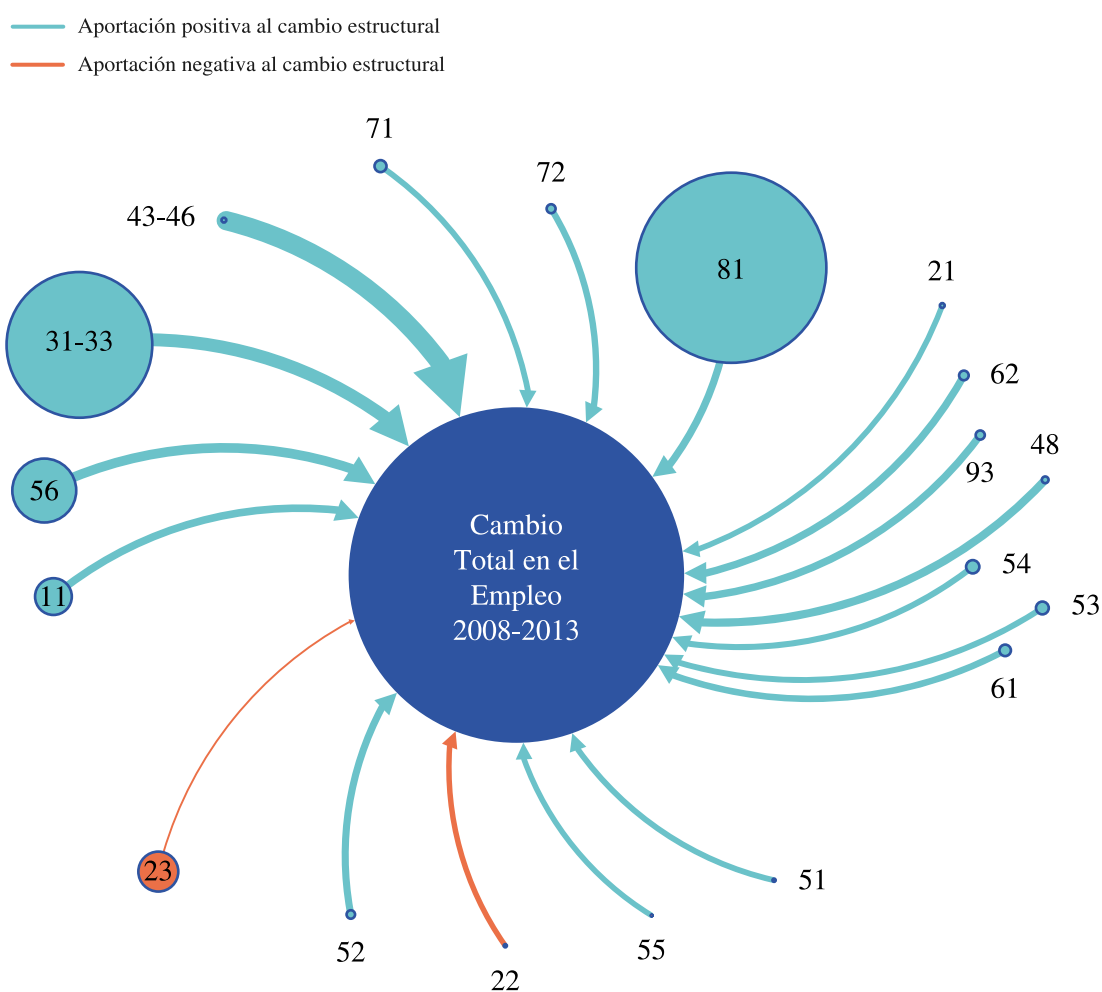
Si la estructura de producción de 2008 se hubiera mantenido en 2013 y se considera la demanda del 2013, se esperaría que el empleo hubiera aumentado 9.7%. Sin embargo, al considerar la estructura de producción del 2013, el empleo registró un incremento del 21%, lo que evidencia cambios estructurales positivos de 11.4%, en la composición técnica y en los coeficientes de empleo que favorecieron la absorción laboral. Para estos años es claro que hay una mejora estructural en coeficientes técnicos y de empleo que beneficio al aumento del empleo.

Los datos del Cuadro 4 revelan que 4 de un total de 19 sectores experimentaron reducciones en el empleo, atribuibles a cambios estructurales técnicos negativos. El cambio total en el empleo del 2008 al 2013 fue positivo 21.1% (10,026,896 de empleos), los cambios en demanda final fueron responsables de incrementos en el empleo por 9.7% (4,605,368), al cambio estructural técnico le corresponde un aumento

de empleos de 11.3% (5,421,528). Cabe destacar que este periodo presentó cambios técnicos positivos entre 2008-2013 y las reducciones en los coeficientes de empleo no fueron tan importantes como en el periodo anterior 2003-2008.

El cambio total es positivo en 2008-2013, por el efecto neto de la demanda y el cambio estructural técnico, para la mayoría de los sectores económicos, con excepción de los sectores Electricidad y Construcción cuyo cambio total fue negativo. Cabe destacar que los sectores que registran cambios positivos estructurales y de demanda son: Industrias Manufactureras, Servicios inmobiliarios y Servicios profesionales, Servicios culturales y Gobierno (Figura 4).

Figura 4
Cambio estructural total en producción 2008-2013



Esfera central = Cambio total en la producción

Tamaño de la esfera = Cambios estructural técnico

Grosor del enlace = Cambios en la Demanda

Fuente: elaboración propia con MIP 2008, 2013 de INEGI.

Análisis comparado

La contribución al crecimiento y el empleo durante el periodo 2003-2013 muestra amplia heterogeneidad. En el primer subperiodo (2003-2008) la producción se incrementó en 29.6%, mientras el empleo aumentó en más del 15%. La dinámica de la demanda final, la tecnología y los requisitos laborales vinculados a la estructura productiva de referencia (contrafactual) impulsaron principalmente los cambios observados. En el segundo subperiodo (2008-2013) se registró un crecimiento del producto de 9.3% y un incremento en el empleo de 21%. Se puede destacar que en este último periodo la participación positiva del cambio estructural técnico, debido a coeficientes técnicos y de empleo, superó a la contribución de la demanda.

Los resultados del modelo para estimar el crecimiento del empleo muestran que fue más fuerte en el segundo periodo (2008-2013), en el cual el empleo creció 10 millones, lo que representa una tasa de crecimiento del 21.1% mientras, en relación al primer periodo (2003-2008), se crearon 6,1 millones de puestos de trabajo, un aumento del 15%. Cabe señalar que el empleo total en el primer periodo recibe el impulso de la demanda de manera importante para compensar la pérdida de empleos por cambio estructural técnico; mientras que en el segundo periodo, el empleo total creció principalmente por el cambio estructural técnico positivo y ligeramente menos por la demanda final.

El primer periodo se caracterizó por cambios estructurales técnicos negativos muy generalizados en 12 de 19 sectores, con una pérdida laboral de 8.9 millones de empleos, afectando principalmente a las manufacturas 4.37, agricultura 2.87 y comercio 10 millones respectivamente; en este último la demanda compensó ampliamente la pérdida, alcanzando saldo positivo, mientras que en los dos primeros sectores no fue así, la demanda no compensó presentando un saldo negativo en empleo. Cabe señalar que el dinamismo de la demanda contribuyó a compensar las pérdidas estructurales técnicas.

En el segundo periodo los cambios estructurales se identificaron por ser positivos con el impulso de los dos factores. El cambio técnico habría creado 5.4 millones de nuevos puestos de trabajo, el 11.4 del porcentaje de crecimiento del empleo total (21.1%). Contribuyeron al crecimiento del empleo en 15 de 19 sectores. Destacando las Manufacturas (1.6 millones de puestos de trabajo), Agricultura (420 mil), Otros servicios (2.15 millones) y Servicios de apoyo a los negocios (736 mil). A nivel sectorial destacan en el segundo periodo los aumentos en el empleo inducidos por el cambio técnico en las Manufacturas, Minería, Servicios Inmobiliarios, Profesionales, Esparcimiento y Cultura y Otros Servicios.

Los resultados del modelo son: el crecimiento del empleo fue más fuerte en el segundo periodo (2008-2013), el aumento del empleo fue 10.02 millones de puestos de trabajo (21.1%). Mientras que en el primero 6.18 millones (2003-2008) lo que representa una tasa de crecimiento menor (15%). El empleo total creció principalmente por el aumento de la demanda final y en menor medida por el cambio técnico y las necesidades laborales. Dado que los requerimientos laborales tienen una relación inversa con la productividad laboral, estos resultados en el primer periodo indicarían que la productividad laboral fue relevante para la reducción del empleo, mientras que en el segundo estaría indicando que la productividad laboral se redujo, dada la especialización en sectores intensivos en trabajo.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se analizaron los factores que inciden en el cambio estructural de la economía mexicana para el periodo 2003-2013. El estudio permitió observar la dinámica del modelo de crecimiento hacia fuera, tanto en la producción como en el empleo. Se utilizó un análisis insumo-producto para identificar los factores que impulsaron a los sectores al cambio estructural técnico y de demanda, con los consecuentes

efectos positivos o negativos en la contribución al crecimiento de la economía. Se utilizaron las matrices de 2003, 2008 y 2013 para la economía nacional, con una desagregación de 19 sectores. Los resultados muestran que el modelo de desarrollo que supone una especialización productiva presentó un conjunto de cambios interrelacionados en la estructura de la economía mexicana que fueron necesarios e incluso determinantes para su crecimiento continuo. El Estado mexicano redujo su papel en la planeación y diseño de políticas industriales que permitieran identificar al sector o sectores que generan mayor crecimiento económico y empleo. En este sentido no se diseñaron políticas de desarrollo sectorial que afianzaran los cambios estructurales.

La contribución al crecimiento y el empleo durante el periodo 2003-2013 muestra amplia heterogeneidad. En el primer subperiodo (2003-2008) la producción tuvo un crecimiento mayor que el empleo. La dinámica de la demanda final, la tecnología y los requisitos laborales vinculados a la estructura productiva de referencia (contrafactual) impulsaron principalmente los cambios observados. En el segundo subperiodo (2008-2013) se registró un crecimiento de la producción con un aumento mayor en el empleo. Se puede destacar que en este último periodo la participación positiva del cambio estructural técnico, el cual se explica fundamentalmente por los coeficientes de empleo superó a la contribución de la demanda.

Los resultados del modelo son: el crecimiento del empleo fue más fuerte en el segundo subperiodo. Dado que los requerimientos laborales tienen una relación inversa con la productividad laboral, en el primer periodo indicarían que la productividad laboral fue relevante para la reducción del empleo, mientras que en el segundo estaría indicando que la productividad laboral se redujo, lo que puede interpretarse que el modelo de crecimiento orientado hacia afuera implicaría una especialización en sectores intensivos en trabajo que demanda calificaciones diferenciadas.

REFERENCIAS

- Accorsi, S., López, R. E. y Sturla, G. (2018). *Input-output table and carbon footprint: estimation and structural decomposition analysis* (SDT475. Serie de Documentos de Trabajo). Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/159324/Input-Output-table.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alves-Passonia, P. (2022). The medium-high and high technological intensity sectors in Mexico and Brazil: a structural decomposition analysis between 2000-2014. *Problemas del desarrollo*, 53(211), 79-106. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2022.211.69845>
- Aroche Reyes, F. (2023). Las causas del cambio estructural en la economía de México entre 1950 y 1960. *CIMEXUS*, 16(1), 143-152. <https://cimexus.umich.mx/index.php/cimexus/article/view/389>
- Arriaga, R. y González, C. R. (2019). La contribución de la cultura y el turismo al empleo en México: una estimación de los multiplicadores tipo I y tipo II. *Análisis Económico*, 34(86), 35-64. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2019v34n86/Arriaga>
- Arriaga, R., Cedillo, E. y González, C. R. (2023). Estructura económica y empleo en México: propuesta de análisis para políticas públicas. *Contaduría y Administración*, 69(1), Artículo e428. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2024.5035>
- Arroyo, J. P., Arredondo, I. I., Castillo, A. y Cortés Basurto, M. Á. (Coords.). (2018). *Balance de las reformas estructurales. Tomo I*. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República. <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/4122/T1%20Tomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calderón-Villarreal, C. y Hernández-Bielma, L. (2016). Cambio estructural y desindustrialización en México. *Panorama Económico*, 12(23), 153-190. <https://revistapanoramaeconomico.mx/index.php/PE/es/article/view/388>

- Calva, J. L. (2010). Reforma económica para el crecimiento sostenido con equidad. *Economía UNAM*, 7(21), 15-36. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/CLA01000275474>
- Capdevielle, M. (2005). Globalización, especialización y heterogeneidad estructural en México. En Cimoli, M. (Ed.), *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina* (pp. 101-126). CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/881fbdad-266a-43bb-bd99-858adf73bd34/content>
- Carter, A. (1970). *Structural change in the American economy*. Harvard University Press.
- Castro Molina, O. A. (2015). *Heterogeneidad estructural y apertura comercial en México. Impactos sobre la población ocupada remunerada 1980-2010* (Tesis de maestría). Universidad de Sonora. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/461/1/castromolinaoscarantonio.pdf>
- Chang, H. J. (2000). The hazard of moral hazard: untangling the Asian crisis. *World Development*, 28(4), 775-788. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00152-7)
- Chenery, H. (1979). *Changement des structures et politique de développement*. Economica, Banque Mondiale.
- Dervis, K., de Melo, J. y Robinson, S. (1982). *General equilibrium models for development policy*. Cambridge University Press.
- Díaz, H. y Morles, M. (2023). Transferencia tecnológica e innovación sectorial en México. *Análisis Económico*, 38(98), 69-92. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2023v38n98/Diaz>
- Flores, F., Bilbao, J. y Ramos, V. (1995). *Cambio técnico, empleo y cambio ocupacional 1990-1995*. Eustat. https://www.eustat.eus/elementos/ele0001200/cambio-tecnico-empleo-y-cambio-ocupacional-1990-1995-pdf-02-mb/inf0001241_c.pdf
- Hernández Mota, J. L. (2018). La transformación estructural de la economía mexicana: ¿milagro o desastre económico? *Economía UNAM*, 15(45), 50-69. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=363557971003>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2008). *Matriz de insumo-producto 2003*. <https://www.inegi.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). *Matriz de insumo-producto 2008*. <https://www.inegi.org.mx>
- Irizarry Hernández, E. B. y Ruiz Mercado, A. L. (2008). Cambio estructural en la economía de Puerto Rico: un análisis usando la técnica de descomposición estructural en el marco de insumo-producto. *Revista Empresarial Inter Metro*, 4(2), 1-22. <http://ceajournal.metro.inter.edu/fall08/hernandezruiz0402.pdf>
- Juhász, R., Lane, N. y Rodrik, D. (2023). *The new economics of industrial policy* (Working Paper No. 31538). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31538>
- Madariaga, R. (2013). *Sectoral and occupational employment growth in Spain 1995-2005*. Comunicación presentada en la 5th Spanish Input-Output Conference, Sevilla, España. <http://hdl.handle.net/10854/2375>
- Miller, R. E. y Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: a guided tour*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195124415.001.0001>
- Murillo-Villanueva, B., Puchet-Anyul, M. y Fujii-Gamero, G. (2018). Exportaciones manufactureras mexicanas por nivel tecnológico y su efecto sobre el empleo en 2008 y 2012: un análisis de descomposición estructural. *Revista de Economía del Rosario*, 21(2), 409-433. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.7206>
- Niu, M., Wang, Z. y Zhang, Y. (2022). How information and communication technology drives (routine and non-routine) jobs: structural path and decomposition analysis for China. *Telecommunications Policy*, 46(1), Artículo 102242. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102242>

- Pérez-Santillán, L. (2017). *Exportaciones y empleo manufactureros en el marco de la segmentación internacional de la producción en México y China, 1988-2010* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/66912>
- Rose, A. Z. y Casler, S. D. (1996). Input-output structural decomposition analysis: a critical appraisal. *Economic Systems Research*, 8, 33-62. <https://doi.org/10.1080/09535319600000003>
- Schuschny, A. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo producto: teoría y aplicaciones* (Serie estudios estadísticos prospectivos, No. 37). CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4737>
- Sesso Filho, U. A., Amâncio Vieira, S. F., Pompermayer Sesso, P. y Alves Brene, P. R. (2021). Structural decomposition analysis on employment changes in selected countries. *International Journal of Development Research*, 11(11), 51723-51729.
- Skolka, J. (1989). Input-output structural decomposition analysis for Austria. *Journal of Policy Modeling*, 11(1), 45-66. [https://doi.org/10.1016/0161-8938\(89\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0161-8938(89)90024-0)
- Stiglitz, J. E. (1996). Some lessons from the East Asian miracle. *The World Bank Research Observer*, 11(2), 151-177. <https://doi.org/10.1093/wbro/11.2.151>
- Temurshoev, U., Miller, R. E. y Bouwmeester, M. C. (2013). A note on the GRAS method. *Economic Systems Research*, 25(3), 361-367. <https://doi.org/10.1080/09535314.2012.746645>
- Tin, P. B. (2014). *A decomposition analysis for labour demand: evidence from Malaysian manufacturing sector*. WSEAS Transactions on Business & Economics. <http://www.wseas.org/multimedia/journals/economics/2014/a065707-119.pdf>
- Torres-Román, S. (1978). *Structural transformation in the economy of Puerto Rico from 1940 to 1972: an input-output analysis* (Tesis doctoral). Michigan State University. <https://d.lib.msu.edu/etd/45130/downloads>
- Trejo Ramírez, M. y Andrade Robles, A. (2013). Evolución y desarrollo de las reformas estructurales en México (1982-2012). *El Cotidiano*, (177), 37-46. <https://elcotidianoenlinea.azc.uam.mx/index.php/numeros-por-articulos/no-177-mexico-y-la-economia-mundial/evolucion-y-desarrollo-de-las-reformas-estructurales-en-mexico-1982-2012>
- Wang, H., Pan, C. y Zhou, P. (2019). Assessing the role of domestic value chains in China's CO₂ emission intensity: a multi-region structural decomposition analysis. *Environmental and Resource Economics*, 74, 865-890. <https://doi.org/10.1007/s10640-019-00351-w>
- Yaghoubi, N. M. y Hosseinzadeh, R. (2020). The effect of technological changes on employment: regional I-O SDA approach. *Iranian Economic Review*, 24(2), 415-429. <https://doi.org/10.22059/IER.2020.76011>

Depreciación del Capital Humano en México: evidencia por género y sectores con Intensidad Tecnológica, 2005–2024

Depreciation of Human Capital in Mexico: evidence by gender and Technology-Intensive sectors, 2005–2024

Raúl Barutch Pimienta Gallardo*, Gerardo Huber Bernal^{1**}
y Marco Tulio Ocegueda Hernández^{***}

| *Colegio de la Frontera Norte | Correo electrónico: raul.pimienta.postdoctoral@colef.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1983-4534> |

| **Universidad Autónoma de Baja California | Correo electrónico: gerardo.huber@uabc.edu.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8900-3165> |

| ***Universidad Autónoma de Baja California | Correo electrónico: marco_ocegueda@uabc.edu.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8723-7884> |

RESUMEN

El estudio analiza la depreciación del capital humano en México entre 2005 y 2024, a partir de microdatos de la ENOE y modelos mincerianos extendidos estimados mediante regresiones robustas MM. Se confirman tres hipótesis principales: los rendimientos a la experiencia disminuyen de forma sostenida (de 3 % en 2005 a 1.6 % en 2024); la depreciación es más acelerada en los sectores tecnológicamente intensivos en investigación y desarrollo respecto a los intensivos en conocimiento, donde la obsolescencia de habilidades reduce la rentabilidad laboral; y las mujeres, pese a alcanzar mayores niveles educativos, obtienen menores retornos a la experiencia, sobre todo en entornos tecnológicos. Mediante simulaciones salariales se muestra que la brecha de género se amplía conforme avanza la trayectoria laboral. En conjunto, los resultados evidencian una creciente desigualdad en la valorización del capital humano y la necesidad de políticas de formación continua y equidad salarial frente al cambio tecnológico.

ABSTRACT

The study analyzes the depreciation of human capital in Mexico between 2005 and 2024 using ENOE microdata and extended Mincer equations estimated through robust MM regressions. Three main hypotheses are confirmed: the returns to experience have steadily declined (from 3% in 2005 to 1.6% in 2024); depreciation is faster in technology-research and development intensive sectors compared to knowledge intensive sectors, where skill obsolescence reduces labor profitability; and women, despite achieving higher educational levels, obtain lower returns to experience, particularly in technological environments. Salary simulations show that the gender gap widens as work experience increases. Overall, the results reveal a growing inequality in human capital valuation and highlight the need for continuous training and wage-equity policies in response to technological change.

Recibido: 30/junio/2025
Aceptado: 01/marzo/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Capital Humano |
| Experiencia laboral |
| Género | Tecnología |
| Retornos salariales |

Keywords:

| Human Capital |
| Work experience |
| Gender | Technology |
| Wage returns |

Clasificación JEL | JEL Classification |

J24, J31, O33, I26



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

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la literatura sobre economía laboral ha demostrado que, los beneficios asociados a la educación y a la experiencia laboral tienden a modificarse con el tiempo, reflejando no solo el envejecimiento de los individuos, sino también los efectos del cambio tecnológico, la transformación

estructural del aparato productivo y la segmentación del mercado laboral (Acemoglu y Autor, 2010). En contextos de creciente automatización, digitalización y terciarización de la economía, se vuelve crucial analizar la depreciación del capital humano como una dimensión central para comprender la evolución de los salarios y las desigualdades de ingreso (Simón, 2020; Ge y Zhou, 2020).

En el caso de México, el estudio de esta problemática podría contribuir al diseño e implementación de políticas públicas, que por su pertinencia, coadyuven en la generación de impactos positivos sobre el desarrollo económico y social del país, teniendo en cuenta de manera particular, la relevancia de tres factores estructurales: (1) una marcada heterogeneidad sectorial entre actividades intensivas en tecnología y sectores de baja complejidad económica; (2) una inserción laboral diferenciada por género, que condiciona las trayectorias de acumulación de experiencia y sus rendimientos; y (3) una débil institucionalidad para la formación continua y la actualización de competencias a lo largo de la vida laboral. Estas condiciones no solo afectan la capacidad de los trabajadores para sostener su productividad relativa con el paso del tiempo, pues también pueden generar penalizaciones salariales asociadas a la edad, el género o el tipo de sector, erosionando el valor del capital humano y reproduciendo brechas estructurales (Rodríguez y Castro, 2012; Vázquez-López, 2013; Orozco, 2023; Huber *et al.*, 2024).

Este artículo analiza empíricamente la depreciación del capital humano en México entre 2005 y 2024, utilizando microdatos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) e implementando modelos econométricos robustos. La estimación se basa en extensiones de la ecuación de Mincer que permiten capturar dinámicas diferenciadas en los retornos a la experiencia. En una primera especificación, se estima un modelo base que incorpora los efectos de la escolaridad, la experiencia, el género y la pertenencia a sectores con alta intensidad tecnológica. En una segunda especificación, se introducen interacciones de segundo y tercer orden entre experiencia, género y sector, lo que permite capturar de forma más precisa la heterogeneidad de los rendimientos laborales.

Esta estrategia permite estimar la forma funcional de los rendimientos decrecientes a la experiencia, su variación interanual y sus diferencias estadísticamente significativas entre grupos poblacionales. El objetivo principal es identificar patrones sistemáticos de depreciación que permitan inferir si existen efectos persistentes asociados a factores estructurales como el cambio tecnológico y la segregación ocupacional por género. En particular, se evalúan tres hipótesis: (1) que los rendimientos a la experiencia laboral no son homogéneos, sino que varían de forma sistemática entre sectores y géneros; (2) que la depreciación del capital humano es más acentuada en sectores con alta intensidad tecnológica, donde la obsolescencia de habilidades puede ser más rápida; y (3) que las mujeres enfrentan trayectorias de depreciación más pronunciadas que los hombres, especialmente en contextos tecnológicos, a pesar de registrar mayores rendimientos educativos promedio.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la primera sección discute el marco teórico y la literatura relacionada con la depreciación del capital humano y su relación con la desigualdad de ingresos. La segunda sección describe la estrategia metodológica, la base de datos y el diseño econométrico implementado. En la tercera sección se presentan los resultados de los modelos y las gráficas de predicción por grupos poblacionales. Finalmente, se ofrecen reflexiones analíticas con implicaciones para el diseño de políticas públicas orientadas a la formación continua, la protección del capital humano y la equidad de género en los mercados laborales del siglo XXI.

I. MARCO TEÓRICO

La literatura sobre el estudio del capital humano ha sido durante décadas uno de los ejes conceptuales centrales en el estudio del crecimiento económico, la productividad individual y la generación de ingresos. Los trabajos pioneros de Schultz (1961), Becker (1962, 1993) y Mincer (1974) coinciden en que el conjunto de conocimientos, habilidades y experiencias que las personas acumulan, a través de la educación y capacitación, posibilitan el crecimiento de la productividad del trabajador y, por ende, su remuneración esperada en el mercado. Si bien, estas contribuciones sentaron las bases teóricas y empíricas para una comprensión estructural de las decisiones educativas y su impacto en el ingreso; no obstante, se ha identificado que dichos conocimientos y habilidades en las capacidades de las personas en el mercado laboral pierden relevancia, de manera muy similar, a la obsolescencia que experimenta el capital físico como consecuencia del progreso técnico. La obsolescencia por el lado de los conocimientos y habilidades ha sido documentada y explicada, tanto por la vida media de las habilidades y el conocimiento profesional (Dubin, 1972), como a través de los cambios en las estrategias empresariales y tecnológicas (Braverman, 1974), el peso de los roles familiares (Mincer y Polachek, 1974), la perspectiva de género (Sandell y Shapiro, 1978) y las interrupciones prolongadas en las trayectorias laborales (Mincer y Ofek, 1982).

Investigaciones recientes han evidenciado que los rendimientos del capital humano no son constantes a lo largo del ciclo de vida laboral. Contrario a la hipótesis de rendimientos lineales o estables, la evidencia empírica muestra un patrón de rendimientos crecientes en las etapas iniciales de la carrera, seguidos de una estabilización y, posteriormente, de una posible disminución. Este fenómeno, conocido como depreciación del capital humano, ha sido documentado en diversos contextos económicos y demográficos, refiriéndose con ello a la disminución del valor económico del capital humano acumulado, especialmente tras interrupciones laborales prolongadas o ante el progreso técnico que requieren nuevas competencias (Kunze, 2002), resultando en reducciones en los salarios, a una menor empleabilidad o limitaciones para ascensos profesionales. Esta problemática, como lo señala Castillo-Aroca (2016) “coloca a las personas menos capacitadas en una situación de vulnerabilidad laboral, que se manifiesta en la incertidumbre sobre el mantenimiento del empleo y los niveles de ingreso de los individuos”.

La depreciación del capital humano puede tener múltiples causas. Por un lado, existen factores biológicos vinculados al envejecimiento, que pueden incidir en el deterioro de ciertas habilidades cognitivas o físicas (de Grip y van Loo, 2002; Lentini y Giménez, 2019; Walter y Lee, 2022). Por otra parte, intervienen elementos estructurales del entorno económico y laboral, como el cambio tecnológico, la automatización de tareas, la transformación sectorial y la segmentación del mercado laboral. Estas dinámicas alteran los perfiles de ingreso y modifican los retornos a la experiencia laboral a lo largo del ciclo de vida (Neuman y Weiss, 1995; van Loo *et al.*, 2001; Murillo, 2006).

Asimismo, por el lado de las transformaciones sectoriales y mercados laborales, existe literatura que explora y analiza la depreciación del capital humano y las pérdidas salariales explicadas por las condiciones estructurales que afectan la capacidad de actualizar conocimientos y habilidades en las trayectorias laborales, las cuales son controladas por diferencias sectoriales de las actividades económicas (Murillo, 2006; Londoño-Restrepo, *et al.*, 2018; Lentini y Giménez, 2019), los perfiles, tipos y duración del empleo (Arrazola y Hevia, 2003), el tipo de educación, donde se destaca que la vocacional experimenta una mayor depreciación que la académica (Murillo 2006 y 2011; Weber, 2014); así como, la inestabilidad laboral en el empleo que tienen un efecto persistente en la pérdida de valor del capital humano (Hernanz y Jimeno, 2018) y afectan de forma más decisiva las trayectorias laborales femeninas.

Desde el punto de vista empírico, la medición de la depreciación ha requerido extensiones de la ecuación original de Mincer, permitiendo incluir términos no lineales e interacciones entre variables. Por ejemplo, Heckman *et al.* (2006) proponen que los retornos a la educación y a la experiencia están sujetos a una alta heterogeneidad individual y a efectos de tratamiento, lo cual rompe con la idea de que los efectos son homogéneos o permanentes. Wooldridge (2010) y Angrist y Pischke (2009) destacan el valor de incorporar interacciones de segundo y tercer orden para modelar efectos diferenciados por grupo, edad, género o sector.

La aceleración tecnológica de las últimas décadas ha redefinido las exigencias sobre el capital humano, ampliando las brechas entre quienes logran adaptarse y quienes quedan rezagados. Goldin y Katz (2008) destacan que históricamente la educación ha sido la principal herramienta para compensar los efectos del cambio tecnológico sobre el empleo y los ingresos. No obstante, cuando la velocidad del cambio supera la capacidad de adaptación del sistema educativo o de los propios trabajadores, se produce una obsolescencia acelerada de habilidades, especialmente en sectores con alta intensidad tecnológica.

Este tipo de asimetrías en la depreciación también ha sido abordado por estudios como el de Ge y Zhou (2020), quienes muestran que la brecha salarial de género en Estados Unidos se ha ampliado en sectores más informatizados, a medida que la tecnología reemplaza funciones rutinarias donde tradicionalmente se insertan las mujeres. Pieters *et al.* (2025) refuerzan esta tesis al encontrar que, en países en desarrollo, las mujeres se concentran en ocupaciones más expuestas al riesgo de automatización, lo cual produce trayectorias divergentes en los rendimientos laborales acumulados.

Para América Latina, y particularmente en México, si bien la literatura empírica sobre depreciación del capital humano es relativamente reciente, ofrece contribuciones relevantes. Por ejemplo, Vignoli (2012) estimó esta tasa para Argentina, encontrando que no es constante y varía según la edad, el género y el sector industrial. Sus resultados indican que la experiencia laboral se deprecia más rápidamente que la escolaridad, y que la tasa de depreciación se acelera significativamente después de los 50 años, especialmente en sectores de alta intensidad tecnológica.

Por su parte, Martínez-Gutiérrez (2012) evalúa el comportamiento de las tasas de retorno y depreciación de capital humano para Colombia por ramas de la actividad económica. En sus hallazgos confirma que existen diferencias entre la depreciación de la educación y la experiencia para las diversas ramas de actividad económica, y que, en los sectores modernos (especializados) se presentan las tasas más altas, lo que contribuye a una desvalorización acelerada del capital humano y perpetúa las brechas salariales de género. Asimismo, menciona cómo las condiciones sectoriales —como el acceso limitado a formación continua o la informalidad laboral— afectan en mayor medida a las mujeres.

De manera similar, Castillo (2015) analizó la depreciación del capital humano en México evaluado por género, rangos etarios, regiones y sectores, concluyendo que en las zonas urbanas y en el sector industrial se presentan las tasas de desgaste más altas. Asimismo, identifica que la población perteneciente a los grupos etarios mayores de 50 años junto con los menores de 25 años y las mujeres son los más vulnerables a experimentar la obsolescencia de sus capacidades productivas.

En un estudio que incluye a países pertenecientes a la Alianza del Pacífico (Colombia, Chile, México y Perú), Castillo (2016) replica la estimación de las tasas de depreciación encontrando los mismos resultados que en su estudio presentado en 2015, pero con magnitudes y características diferenciadas. Así, Chile es el país que presentó la menor tasa de desvalorización del capital humano debido a que posee una población altamente educada, que se encuentra mayormente empleada en el sector formal de la economía, en contraste con los hallazgos para el Perú. Por su parte, en México y Chile, por género, se identifica a las mujeres como el grupo con las tasas más altas de depreciación. Por sectores, el país que presenta la mayor vulnerabilidad a la obsolescencia en el sector industrial es Colombia, en el rural se ubica a México y en el terciario a Chile.

Por otro lado, Grigera y Nava (2021) han documentado cómo el impacto del cambio tecnológico ha sido más fuerte en ocupaciones de baja calificación, sin que existan mecanismos institucionales eficaces de reconversión laboral. Estos estudios sugieren que los retornos a la experiencia no solo han dejado de crecer, sino que en ciertos sectores —especialmente tecnológicos— se han vuelto negativos para grupos específicos, como mujeres mayores o trabajadores con baja actualización de competencias.

En cuanto a las metodologías empleadas, existe una evolución clara hacia el uso de modelos más flexibles que permiten captar heterogeneidades. Por ejemplo, el uso de regresiones con interacciones de segundo y tercer orden permite explorar cómo la experiencia se relaciona con variables como género y sector para producir efectos diferenciados. Además, la incorporación de estimadores robustos, como los estimadores MM (Yohai, 1987), ha permitido sortear los problemas asociados con la presencia de valores atípicos y errores no normales, muy frecuentes en datos de ingreso.

En síntesis, la literatura revisada sugiere que los rendimientos del capital humano dependen del contexto, del grupo poblacional y del sector económico. La depreciación del capital humano debe entenderse como un proceso dinámico que combina factores individuales (edad, experiencia, escolaridad), estructurales (sector económico, nivel tecnológico) y sociales (género, desigualdad en el acceso a oportunidades). Abordar este fenómeno desde una perspectiva empírica robusta y metodológicamente sólida es fundamental para diseñar políticas públicas que reduzcan la desigualdad salarial y promuevan la actualización continua de las capacidades laborales.

II. MARCO METODOLÓGICO Y DATOS

Para medir los rendimientos educativos en México entre 2005 y 2024, con atención a las diferencias por género y sector económico, este estudio adopta un enfoque cuantitativo basado en microdatos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). El objetivo es estimar los retornos al capital humano en el mercado laboral mexicano, prestando especial atención a los procesos de depreciación diferenciada a lo largo del ciclo laboral.

Para agrupar las ramas económicas en los dos sectores propuestos para este estudio, se toma como criterio categorizarlas de acuerdo con su intensidad tecnológica, tomando como referencia la clasificación de la OCDE (Galindo-Rueda y Verger, 2016) con base en la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). Así, las ramas seleccionadas como sectores con alta intensidad tecnológica (extracción, electricidad, construcción y manufactureras) corresponden a actividades productivas basadas en tecnologías duras, caracterizadas por un uso intensivo de innovación técnica y procesos productivos avanzados, los cuales la OCDE asocia con distintos niveles de intensidad en investigación y desarrollo (I+D) tanto directa (valor de la producción) como indirecta (valor agregado).

Por su parte, los sectores intensivos en conocimiento están representados por las ramas de comercio, servicios y las pertenecientes al sector primario. Estas actividades económicas se consideran apoyadas en tecnologías blandas, propensas a utilizar un conjunto de técnicas, métodos, procesos, modos de organización o activos intangibles (patentes, software, datos, entre otros).

El análisis se enfoca en identificar patrones sistemáticos de pérdida de valor del capital humano, considerando tanto las trayectorias laborales —entendidas como la evolución acumulada de la experiencia y su interacción con edad, género y sector económico— como la pertenencia a sectores con alta intensidad tecnológica. Cabe señalar que, si bien los datos utilizados corresponden a cortes transversales anuales, la interacción entre edad, experiencia y sector permite construir una aproximación empírica a trayectorias laborales diferenciadas. Para ello, se especifica una ecuación de ingresos de tipo Minceriana con extensiones que incorporan términos de interacción entre variables clave.

Dada la presencia de valores atípicos y la no normalidad en la distribución de los ingresos, se optó por una estrategia de estimación robusta mediante regresión MM, la cual mitiga el impacto de observaciones extremas y posibles violaciones a los supuestos clásicos de regresión (Yohai, 1987). A diferencia de los estimadores por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que son particularmente sensibles a valores atípicos, los estimadores MM aplican funciones de peso que reducen el efecto de estas observaciones, proporcionando parámetros más estables y confiables.

Para este análisis se eliminaron observaciones con datos faltantes, registros sin ingreso reportado o con códigos especiales de no respuesta. La limpieza de la base —a partir de las variables de ingreso, escolaridad y sector económico— permitió centrar el análisis en personas ocupadas entre 18 y 65 años de edad, con características observables completas, excluyendo a estudiantes de tiempo completo, jubilados y registros con valores 0 que distorsionan la escala al aplicar el logaritmo del ingreso por hora.

Las variables principales incluidas en los modelos fueron: ingreso por hora (transformado a logaritmo natural), años de escolaridad, experiencia potencial (calculada como edad menos años de escolaridad menos seis), edad, género y pertenencia a sectores con alta intensidad tecnológica (*sector_tech*). Esta última tipificación se definió como una variable dicotómica que toma el valor de uno si la persona trabaja en la industria extractiva, eléctrica, manufacturera o de la construcción, y cero en caso contrario. También se consideraron interacciones de segundo y tercer orden entre estas variables, lo cual permite capturar trayectorias diferenciales en los retornos al capital humano entre distintos subgrupos poblacionales (Wooldridge, 2010; Angrist y Pischke, 2009).

Además, se estimaron dos modelos econométricos basados en la ecuación de Mincer (1974), ambos bajo el enfoque robusto propuesto por Yohai (1987). El primero es un modelo minceriano extendido que incorpora variables de género y tipo de sector económico, mientras que el segundo incorpora interacciones para capturar efectos diferenciados entre experiencia, género y sector económico. A continuación, se detallan ambas especificaciones:

Modelo 1.

$$\ln_ingreso = \beta_0 + \beta_1 \cdot escolaridad + \beta_2 \cdot experiencia + \beta_3 \cdot experiencia^2 + \beta_4 \cdot género + \beta_5 \cdot sector_tech + \varepsilon$$

Modelo 2.

$$\ln_ingreso = \beta_0 + \beta_1 \cdot escolaridad + \beta_2 \cdot experiencia + \beta_3 \cdot experiencia^2 + \beta_4 \cdot género + \beta_5 \cdot sector_tech + \beta_6 \cdot (experiencia \times género) + \beta_7 \cdot (experiencia \times sector_tecno) + \beta_8 \cdot (género \times sector_tecno) + \beta_9 \cdot (experiencia \times género \times sector_tecno) + \varepsilon$$

El primer modelo permite estimar los rendimientos promedio a la escolaridad y a la experiencia laboral, así como las primas salariales por género y pertenencia a sectores con alta intensidad tecnológica. Mientras que el segundo permite evaluar si los rendimientos de la experiencia se deprecian de forma diferenciada por género y por sector, así como explorar la existencia de un efecto triple de penalización o prima salarial. Con ello se busca identificar posibles brechas estructurales que afectan de forma particular a las mujeres en sectores con alta intensidad en tecnología, en línea con hipótesis contemporáneas sobre desigualdad de género y obsolescencia acelerada de habilidades (England *et al.*, 1988; Goldin y Katz, 2008; Ge y Zhou, 2020; Pieters, Kujundzic, Burger, y Gondwe, 2025). Los modelos fueron estimados de manera independiente para cada año del periodo 2005–2024. Esto permite observar tendencias temporales en los coeficientes e identificar cambios estructurales en los retornos al capital humano.

Para evaluar el ajuste de los modelos, se utilizaron tres estadísticas complementarias: el R^2 robusto, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la desviación absoluta media (MAD). El R^2 robusto ofrece una aproximación a la varianza explicada por el modelo, sin estar sesgado por observaciones atípicas. El RMSE penaliza de forma más intensa los errores extremos, mientras que el MAD proporciona una medida robusta de la dispersión de los residuos. Estas métricas se reportan anualmente para cada modelo estimado en el periodo de análisis.

Los modelos fueron estimados de manera independiente para cada año del periodo 2005–2024. Esta estrategia permite observar tendencias temporales en los coeficientes, así como identificar cambios estructurales en los retornos al capital humano en contextos económicos diversos. Las estimaciones anuales se visualizan mediante gráficas de coeficientes que permiten comparar magnitudes y significancia a lo largo del tiempo.

Por último, se generaron conjuntos de datos artificiales que combinan distintas configuraciones de variables clave —como nivel de escolaridad (de 0 a 20 años), años de experiencia laboral (de 0 a 40), pertenencia o no a sectores con alta intensidad tecnológica, y género— con el fin de simular escenarios representativos para distintos perfiles de trabajadores. A partir de estas combinaciones, se utilizaron las funciones de predicción del modelo econométrico para estimar los ingresos esperados y calcular sus intervalos de confianza al 95%.

Esto permitió trazar perfiles salariales marginales a lo largo de las dimensiones de escolaridad y experiencia, comparando visual y estadísticamente las trayectorias de ingreso según grupo poblacional y tipo de sector. Las diferencias entre perfiles se evalúan a partir del traslape o separación de los intervalos de confianza, lo que facilitó la identificación de patrones de desigualdad, asociados a la depreciación del capital humano femenino en sectores con alta intensidad en tecnología.

El aporte metodológico de este estudio consiste en aplicar estimadores robustos MM a un periodo extenso (2005–2024), lo que representa una mejora sustancial respecto a los enfoques tradicionales empleados en la literatura sobre depreciación del capital humano. Mientras que trabajos como los de Neuman y Weiss (1995), Murillo (2006) y Castillo-Aroca (2016) emplearon estimaciones convencionales para analizar cortes temporales o comparaciones entre países, este estudio integra un enfoque robusto longitudinal basado en microdatos de la ENOE. La elección de estimadores robustos se justifica por su capacidad para reducir la sensibilidad de los coeficientes ante valores atípicos y heterocedasticidad —problemas frecuentes en bases laborales extensas—, asegurando estimaciones consistentes y eficientes frente a desviaciones de la normalidad en los errores. Este enfoque resulta pertinente cuando los datos abarcan periodos largos y condiciones estructurales cambiantes del mercado laboral, como ocurre en México durante las dos últimas décadas.

No obstante, el uso de técnicas robustas también presenta limitaciones: si bien atenúan la influencia de observaciones extremas, no eliminan completamente la posibilidad de sesgos derivados de variables omitidas o de endogeneidad no observable. En este sentido, los resultados deben interpretarse como aproximaciones empíricamente sólidas dentro de un marco de inferencia robusta, pero no como estimaciones estructurales estrictas. Además, la incorporación de interacciones entre experiencia, género y sector tecnológico permite modelar la heterogeneidad estructural del mercado laboral mexicano, aportando evidencia sobre los patrones diferenciados de depreciación del capital humano. En conjunto, la contribución del trabajo es metodológica y empírica: amplía el horizonte temporal de análisis y refina la capacidad explicativa del modelo minceriano para contextos de alta transformación tecnológica.

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Esta sección presenta los hallazgos del análisis empírico sobre los rendimientos del capital humano en el mercado laboral mexicano durante 2005–2024. La exposición avanza de la evidencia descriptiva a los resultados econométricos y, finalmente, a su interpretación.

En primer lugar, se presenta un análisis descriptivo del capital humano en México, buscando tener un panorama de las brechas educativas, sectoriales y salariales como punto de partida del análisis. La lectura comparativa por género y tipo de sector permite identificar tendencias persistentes y posibles señales de depreciación diferenciada. En segundo término, se presentan los resultados de estimar los modelos propuestos, con métodos robustos. De esta manera, se cuantifican los rendimientos marginales de la escolaridad y la experiencia, y evalúan cómo cambian al incorporar interacciones entre género y sector económico. Así mismo se muestran, de manera gráfica las trayectorias temporales, intervalos de confianza y eventuales puntos de quiebre en los efectos estimados.

Por último, se integra la evidencia descriptiva y econométrica en una discusión que profundiza la interpretación de los patrones observados, prestando atención a la depreciación diferenciada del capital humano por género y sector tecnológico, así como a los efectos compuestos de la experiencia en contextos de transformación productiva y cambio tecnológico acelerado.

a. Brechas persistentes y trayectorias contrastantes: un análisis descriptivo del Capital Humano en México (2005–2024)

Antes de estimar los modelos econométricos, resulta pertinente realizar una exploración estadística de los patrones generales en torno a la distribución del capital humano en México. Este análisis descriptivo permite establecer una línea de base para la interpretación posterior de los coeficientes y también sirve para revelar tendencias estructurales persistentes que refuerzan la hipótesis de una depreciación diferenciada.

La evidencia empírica internacional ha documentado ampliamente que las mujeres enfrentan penalizaciones estructurales en el mercado laboral, incluso cuando sus niveles de escolaridad superan a los de los hombres (Blau y Kahn, 2017). En el contexto mexicano, estudios como los de Campos-Vázquez y Lustig (2017) han mostrado que, aunque la brecha de género en años de escolaridad prácticamente se ha cerrado —e incluso se ha revertido a favor de las mujeres—, las diferencias salariales no han seguido la misma trayectoria. Esto sugiere la existencia de barreras estructurales y mecanismos de segmentación ocupacional que limitan el aprovechamiento del capital humano femenino.

El Cuadro 1 presenta estadísticas agregadas para las principales variables de interés, desagregadas por género y sector tecnológico. A lo largo del periodo 2005–2024, se observa que los hombres reciben, en promedio, mayores ingresos por hora que las mujeres, a pesar de que estas últimas han alcanzado mayores niveles de escolaridad. Esto se alinea con evidencia que muestra rendimientos educativos consistentemente más altos para las mujeres en comparación con los hombres, lo cual contrasta con las persistentes disparidades en los ingresos laborales. Esta divergencia sugiere la existencia de barreras institucionales, mecanismos de segmentación ocupacional y otras formas de penalización estructural que limitan la conversión plena del capital humano femenino en retornos salariales, especialmente cuando interactúan el género, el sector y la región (Ocegueda *et al.*, 2024).

Además, el análisis muestra que los hombres tienen una participación más alta en sectores con alta intensidad en investigación y desarrollo (I+D) (superior al 30%), mientras que menos del 20% de las mujeres laboran en dichos sectores, lo cual sugiere una segmentación ocupacional estructural. Esta segmentación no

solo limita las oportunidades de acumulación de experiencia sectorial relevante, sino que también incrementa la exposición diferencial a la depreciación del capital humano en contextos de cambio tecnológico acelerado.

En términos de edad y experiencia, ambos grupos presentan trayectorias similares, pero los hombres tienden a acumular mayor experiencia laboral, lo que podría estar vinculado con menores tasas de interrupción laboral. Como señalan Pieters *et al.* (2025), las interrupciones en la carrera laboral son un mecanismo clave de depreciación diferencial, particularmente para las mujeres. En este sentido, se puede afirmar que, las trayectorias laborales femeninas están marcadas por la segmentación sectorial y por una mayor exposición al deterioro de habilidades no utilizadas.

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas por sexo: ingreso, edad, escolaridad, experiencia
y participación en sectores con Alta Intensidad Tecnológica (2005–2024)

<i>Hombre</i>						
Año	Ingreso por hora promedio		Edad promedio	Población en sectores con Alta Intensidad Tecnológica*	Escolaridad promedio	Experiencia promedio
	Sector intensivo en conocimiento	Sector Alta Intensidad Tecnológica				
2005	28.1	25.84	37.3	32.67%	8.95	22.39
2006	29.9	27.04	37.4	33.06%	9.00	22.43
2007	31.2	28.66	37.4	33.23%	9.07	22.29
2008	30.9	28.66	37.4	32.41%	9.09	22.34
2009	30.9	29.44	37.5	31.14%	9.13	22.40
2010	31.4	29.35	37.6	31.73%	9.22	22.36
2011	32.3	29.82	37.5	31.51%	9.26	22.24
2012	33.7	31.47	37.9	31.55%	9.40	22.50
2013	33.9	31.89	37.8	32.64%	9.47	22.36
2014	33.6	32.01	38.2	33.28%	9.48	22.69
2015	35.6	34.10	38.1	34.11%	9.55	22.51
2016	37.1	35.17	38.4	34.60%	9.59	22.84
2017	38.7	36.32	38.5	34.67%	9.68	22.84
2018	40.9	38.51	38.8	34.66%	9.80	23.01
2019	44.3	41.54	39.1	34.30%	9.97	23.11
2020	49.9	45.62	39.1	34.82%	10.21	22.87
2021	50.2	46.83	39.3	34.14%	10.19	23.11
2022	96.5	50.82	42.3	5.97%	16.44	19.84
2023	60.8	57.63	39.8	34.07%	10.33	23.44
2024	66.3	64.56	39.8	33.80%	10.33	23.49
<i>Mujer</i>						
Año	Ingreso por hora promedio		Edad promedio	Población en sectores con Alta Intensidad Tecnológica*	Escolaridad promedio	Experiencia promedio
	Sector intensivo en conocimiento	Sector Alta Intensidad Tecnológica				
2005	28.1	25.84	37.3	32.67%	8.95	22.39
2006	29.9	27.04	37.4	33.06%	9.00	22.43
2007	31.2	28.66	37.4	33.23%	9.07	22.29
2008	30.9	28.66	37.4	32.41%	9.09	22.34
2009	30.9	29.44	37.5	31.14%	9.13	22.40
2010	31.4	29.35	37.6	31.73%	9.22	22.36

Mujer

Año	Ingreso por hora promedio		Edad promedio	Población en sectores con Alta Intensidad Tecnológica*	Escolaridad promedio	Experiencia promedio
	Sector intensivo en conocimiento	Sector Alta Intensidad Tecnológica				
2011	32.3	29.82	37.5	31.51%	9.26	22.24
2012	33.7	31.47	37.9	31.55%	9.40	22.50
2013	33.9	31.89	37.8	32.64%	9.47	22.36
2014	33.6	32.01	38.2	33.28%	9.48	22.69
2015	35.6	34.10	38.1	34.11%	9.55	22.51
2016	37.1	35.17	38.4	34.60%	9.59	22.84
2017	38.7	36.32	38.5	34.67%	9.68	22.84
2018	40.9	38.51	38.8	34.66%	9.80	23.01
2019	44.3	41.54	39.1	34.30%	9.97	23.11
2020	49.9	45.62	39.1	34.82%	10.21	22.87
2021	50.2	46.83	39.3	34.14%	10.19	23.11
2022	96.5	50.82	42.3	5.97%	16.44	19.84
2023	60.8	57.63	39.8	34.07%	10.33	23.44
2024	66.3	64.56	39.8	33.80%	10.33	23.49

La población considerada en sectores intensivos en tecnología es la que pertenece a la industria manufacturera, de la construcción, extractiva y de la electricidad. Para ello, se tomó como referencia la clasificación de la OCDE (Galindo-Rueda y Verger, 2016) y la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) que ha servido a esta organización intergubernamental para asociar a esta población con distintos niveles de intensidad en investigación y desarrollo (I+D).

Fuente: elaboración propia.

El año 2022 presenta patrones atípicos, como un incremento inusual en los ingresos horarios y una disminución abrupta en la escolaridad promedio, lo que probablemente obedece a errores de codificación o modificaciones en el levantamiento de la ENOE. Estos desajustes deben ser considerados con cautela en el análisis longitudinal y justifican la necesidad de métodos robustos para la estimación econométrica, como los modelos MM que se emplean en esta investigación.

En conjunto, este análisis estadístico refuerza la necesidad de modelar interacciones entre experiencia, género y sector económico. Las trayectorias diferenciadas no solo emergen de los datos agregados, sino que responden a patrones bien documentados en la literatura sobre desigualdad, segmentación y obsolescencia del capital humano.

b. Resultados econométricos

Los resultados del modelo base se presentan en el Cuadro 2 y en la Gráfica 1, que ilustran la evolución anual de los coeficientes estimados para el periodo 2005–2024. Este modelo incorpora como variables explicativas los años de escolaridad, la experiencia laboral y su término cuadrático, además de controles por género y pertenencia a sectores tecnológicamente intensivos. Las estimaciones se realizaron mediante un estimador robusto MM (Yohai, 1987), lo que permite mitigar el efecto de observaciones extremas y la falta de normalidad en la distribución del ingreso.

Los coeficientes asociados a la escolaridad se mantienen positivos, estables y altamente significativos durante todo el periodo analizado. Sus valores oscilan entre 0.097 y 0.066, lo que equivale a incrementos promedio de entre 7 % y 9 % en el ingreso por hora por cada año adicional de estudios. Aunque las magnitudes tienden a reducirse ligeramente en los años recientes, el signo y la significancia permanecen constantes, lo que

evidencia la persistencia de rendimientos positivos de la educación en el mercado laboral mexicano. En el caso de la experiencia laboral, el coeficiente lineal (*exp*) presenta una trayectoria decreciente —de aproximadamente 0.0306 en 2005 a 0.016 en 2024—, mientras que el término cuadrático (*exp*²) es negativo y significativo en todos los años. Esta combinación confirma el perfil no lineal de los retornos a la experiencia, caracterizado por una fase inicial de crecimiento, seguida de una meseta y una caída posterior conforme avanza la vida laboral. Los parámetros asociados al género (*gen*) y al sector tecnológico (*tech*) son positivos y estadísticamente significativos en la mayoría de los años. El primero revela una brecha salarial persistente a favor de los hombres, que se reduce levemente a lo largo del tiempo, mientras que el segundo indica la existencia de una prima salarial asociada al empleo en sectores intensivos en tecnología.

Cuadro 2
Estimaciones del modelo con controles por género y sectores
con Alta Intensidad Tecnológica (2005–2024)

<i>ln_ing</i>										
<i>Variable</i>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<i>Constante</i>	2.2714***	2.329***	2.3892***	2.381***	2.3772***	2.3644***	2.3824***	2.3456***	2.3474***	2.3619***
<i>anios_esc</i>	0.0973***	0.0959***	0.0935***	0.091***	0.089***	0.0886***	0.0865***	0.089***	0.0871***	0.0852***
<i>exp</i>	0.0306***	0.0291***	0.0272***	0.0263***	0.025***	0.0244***	0.0236***	0.024***	0.0229***	0.0213***
<i>exp_2</i>	-0.0004***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0002***	-0.0002***
<i>gen</i>	0.1054***	0.0949***	0.0901***	0.0885***	0.0828***	0.0772***	0.0733***	0.0668***	0.0753***	0.067***
<i>tech</i>	0.1022***	0.1099***	0.1009***	0.1002***	0.0978***	0.0899***	0.0815***	0.0818***	0.0828***	0.0859***
<i>R2 Robusto</i>	0.271	0.261	0.253	0.244	0.227	0.227	0.215	0.223	0.217	0.215
<i>RMSE</i>	0.699	0.703	0.699	0.691	0.699	0.69	0.687	0.688	0.672	0.655
<i>MAD</i>	0.388	0.385	0.383	0.377	0.382	0.373	0.374	0.374	0.368	0.357
<i>Obs.</i>	138,610	136,902	134,125	126,601	123,477	121,575	122,208	119,072	121,655	120,540
<i>Variable</i>	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<i>Constante</i>	2.2714***	2.329***	2.3892***	2.381***	2.3772***	2.3644***	2.3824***	2.3456***	2.3474***	2.3619***
<i>anios_esc</i>	0.0973***	0.0959***	0.0935***	0.091***	0.089***	0.0886***	0.0865***	0.089***	0.0871***	0.0852***
<i>exp</i>	0.0306***	0.0291***	0.0272***	0.0263***	0.025***	0.0244***	0.0236***	0.024***	0.0229***	0.0213***
<i>exp_2</i>	-0.0004***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0002***	-0.0002***
<i>gen</i>	0.1054***	0.0949***	0.0901***	0.0885***	0.0828***	0.0772***	0.0733***	0.0668***	0.0753***	0.067***
<i>tech</i>	0.1022***	0.1099***	0.1009***	0.1002***	0.0978***	0.0899***	0.0815***	0.0818***	0.0828***	0.0859***
<i>R2 Robusto</i>	0.271	0.261	0.253	0.244	0.227	0.227	0.215	0.223	0.217	0.215
<i>RMSE</i>	0.699	0.703	0.699	0.691	0.699	0.69	0.687	0.688	0.672	0.655
<i>MAD</i>	0.388	0.385	0.383	0.377	0.382	0.373	0.374	0.374	0.368	0.357
<i>Obs.</i>	138,610	136,902	134,125	126,601	123,477	121,575	122,208	119,072	121,655	120,540

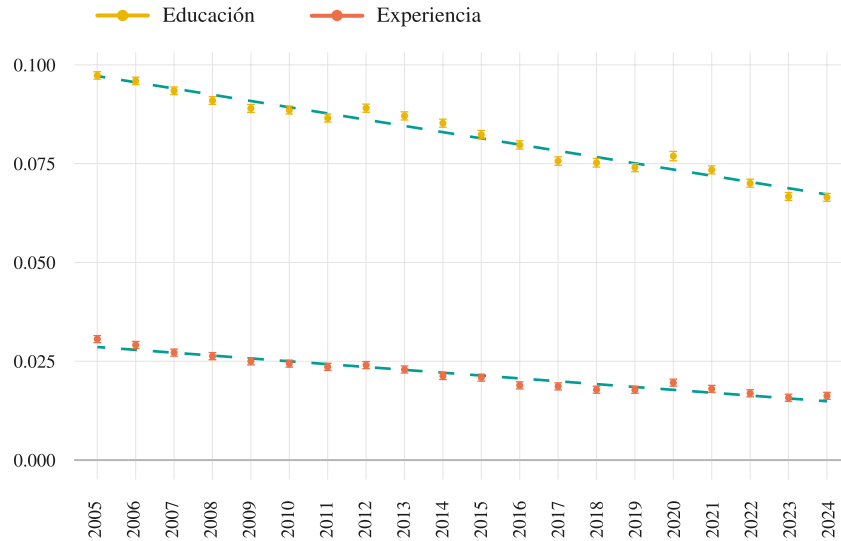
*** indica significancia estadística al 1 por ciento, ** indica significancia estadística al 5 por ciento y * indica significancia estadística al 10 por ciento.

Los estimadores MM (Yohai, 1987) se obtienen mediante una regresión robusta que permite mayor estabilidad ante un elevado número de datos atípicos y la falta de normalidad en la distribución de los datos. Se reportan medidas de evaluación de ajuste del modelo como el R² Robusto, el RMSE (raíz del error cuadrático medio) y el MAD (desviación absoluta media). Estas estadísticas se complementan entre sí: el RMSE penaliza con mayor intensidad los errores extremos, mientras que el MAD ofrece una lectura más robusta frente a valores atípicos. El número de observaciones varía por año, lo cual puede influir en la magnitud de los errores de predicción. La estimación correspondiente a 2022 debe interpretarse con precaución debido a su bajo tamaño muestral; los valores de las series fueron imputados únicamente para fines gráfico.

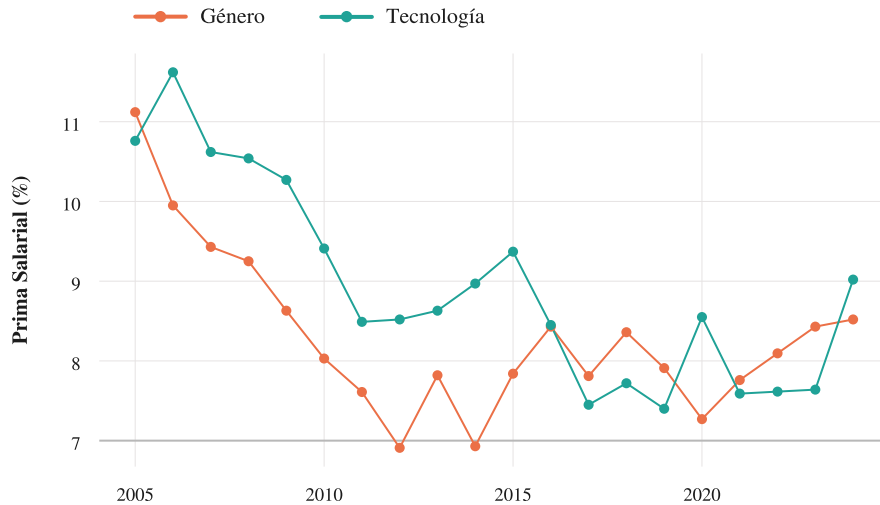
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 1
Evolución de los retornos al Capital Humano en el mercado laboral mexicano y primas salariales por género y sectores con Alta Intensidad Tecnológica, (2005–2024)

Panel A. Rendimientos estimados de la educación y la experiencia laboral



Panel B. Primas salariales por género y sector con alta intensidad tecnológica



Nota: el eje vertical del **Panel A** muestra los coeficientes estimados anualmente para la escolaridad y la experiencia laboral, obtenidos mediante regresiones robustas (MM) aplicadas a microdatos de la ENOE (2005–2024). Las líneas verticales representan intervalos de confianza al 95 % y la línea horizontal en cero indica el valor de referencia para determinar la significancia estadística: los coeficientes cuyos intervalos no cruzan esta línea son significativamente distintos de cero. Los intervalos de confianza se mantienen estrechos a lo largo del periodo, lo que refleja una alta precisión en las estimaciones y una relación estadísticamente significativa y robusta entre los rendimientos de la educación y la experiencia. El **Panel B** muestra las primas salariales estimadas por género y sector con alta intensidad tecnológica, expresadas en porcentaje y donde el grupo de referencia corresponde a los sectores intensivos en conocimiento. La estimación correspondiente a 2022 debe interpretarse con precaución debido a su bajo tamaño muestral. Los valores atípicos fueron imputados con el fin de mantener la continuidad de las series.

Fuente: elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE).

El R^2 robusto muestra una disminución progresiva —de valores cercanos a 0.27 en los primeros años a alrededor de 0.15 en los últimos—, mientras que las medidas de error (RMSE y MAD) se mantienen relativamente estables. Este comportamiento sugiere que, si bien los factores tradicionales del capital humano siguen siendo determinantes relevantes del ingreso, su capacidad explicativa se ha reducido en un contexto de mayor heterogeneidad y cambio estructural en el mercado laboral.

La Gráfica 1 (Panel A) muestra la evolución de los coeficientes de escolaridad y experiencia, con intervalos de confianza al 95 %. Los intervalos permanecen estrechos y sin cruces con la línea de referencia en cero, lo que evidencia la precisión y significancia estadística de las estimaciones. En el Panel B, las primas salariales por género y por sector tecnológico se representan como diferencias porcentuales respecto a los grupos de referencia (mujeres y trabajadores de sectores no tecnológicos). En ambos casos se observan primas positivas durante todo el periodo, con una tendencia a la reducción en la brecha de género y una mayor volatilidad en la prima tecnológica. Estos resultados respaldan la hipótesis de una depreciación gradual del capital humano y justifican la inclusión de interacciones que capten efectos diferenciados no observables.

En el Cuadro 3 y la Gráfica 2, se muestran los resultados del modelo incorporando interacciones de segundo y tercer orden entre la experiencia laboral, el género y la pertenencia a sectores tecnológicos. Esta especificación busca capturar la heterogeneidad en los retornos al capital humano y la posible existencia de efectos combinados que modifiquen la relación entre educación, experiencia e ingreso.

En general, los coeficientes principales mantienen el signo y la significancia observados en el primer modelo. El parámetro asociado a la escolaridad continúa siendo positivo y altamente significativo, reafirmando su papel como el componente más estable del capital humano. En contraste, el coeficiente de género (*gen*) muestra una tendencia descendente, mientras que el coeficiente del sector tecnológico (*tech*) pasa de valores negativos en los primeros años a niveles cercanos a cero o positivos en la etapa reciente, reflejando una posible recomposición en la prima sectorial.

Las interacciones de segundo orden evidencian patrones diferenciados. La interacción entre experiencia y género (*exp* $\times$ *gen*) es negativa y significativa en la mayoría de los años, lo que indica que los incrementos salariales asociados a la experiencia son menores para los hombres cuando se controlan los efectos sectoriales. De manera similar, la interacción experiencia $\times$ sector tecnológico (*exp* $\times$ *tech*) también presenta coeficientes negativos y significativos durante casi todo el periodo, lo que sugiere que los rendimientos a la experiencia se reducen en los sectores de alta intensidad tecnológica. Estos resultados se observan en los Paneles A y B de la Gráfica 2, donde las líneas estimadas permanecen por debajo de la referencia cero, con intervalos de confianza estrechos en la mayor parte del periodo.

Por su parte, la interacción de tercer orden (*exp* $\times$ *gen* $\times$ *tech*) mantiene coeficientes positivos, pequeños y estadísticamente significativos en la mayoría de los años, con valores comprendidos entre 0.006 y 0.009. Esto indica que los hombres empleados en sectores intensivos en investigación y desarrollo (I+D) obtienen un retorno marginal ligeramente mayor a la experiencia que los demás grupos, aunque el efecto es modesto y estable a lo largo del tiempo (Panel C). En contraste, la interacción entre género y sector tecnológico (*gen* $\times$ *tech*) es positiva y significativa hasta mediados de la década de 2010, pero pierde significancia en los años recientes, reflejando una posible reducción en la ventaja salarial de los perfiles masculinos en entornos tecnológicos.

El R^2 robusto del modelo extendido disminuye gradualmente de valores cercanos a 0.36 en los primeros años a alrededor de 0.22 hacia el final del periodo, mientras que el RMSE y el MAD permanecen dentro de rangos similares al modelo anterior. Este comportamiento es consistente con un mercado laboral más fragmentado, donde la automatización, la transformación tecnológica y la segmentación por género alteran las estructuras tradicionales de valorización del capital humano.

En conjunto, las estimaciones del modelo extendido confirman la relevancia de considerar efectos interactivos en la medición de los rendimientos del capital humano. La interacción entre experiencia, género y sector tecnológico introduce matices que el modelo anterior no capta, al evidenciar una depreciación diferenciada de la experiencia y una recomposición gradual de las primas salariales en un entorno productivo cada vez más condicionado por el cambio tecnológico.

Cuadro 3
Estimaciones del modelo extendido con interacciones entre experiencia, género y pertenencia a sectores con Alta Intensidad Tecnológica, (2005–2024)

<i>ln_ing</i>										
Variable	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Constante	2.3195***	2.3723***	2.4331***	2.428***	2.4163***	2.4194***	2.4223***	2.3885***	2.3846***	2.405***
anios_esc	0.0971***	0.0958***	0.0934***	0.0907***	0.0888***	0.0882***	0.0865***	0.0888***	0.0869***	0.085***
exp	0.0298***	0.0284***	0.0266***	0.0256***	0.0245***	0.0235***	0.023***	0.0234***	0.0225***	0.0207***
exp_2	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0003***	-0.0002***	-0.0002***
gen	0.0663***	0.0656***	0.0594***	0.0483***	0.0534***	0.0278***	0.0443***	0.0279***	0.0528***	0.0372***
tech	-0.0258**	-0.0383***	-0.0663***	-0.0546***	-0.055***	-0.0731***	-0.0638***	-0.0532***	-0.06***	-0.0533***
exp x gen	-0.001***	-0.0013***	-0.0016***	-0.0009***	-0.0014***	-0.0006*	-0.0013***	-0.0009***	-0.0015***	-0.0014***
exp x tech	-0.0037***	-0.0019***	-0.0019***	-0.0025***	-0.0029***	-0.0027***	-0.0027***	-0.0038***	-0.0017***	-0.0026***
gen x tech	0.0892***	0.0995***	0.1197***	0.1209***	0.1077***	0.1196***	0.0948***	0.1019***	0.0953***	0.0941***
exp x gen x tech	0.0092***	0.0076***	0.008***	0.0077***	0.0087***	0.0085***	0.0086***	0.009***	0.0073***	0.0081***
R2 Robusto	0.368	0.362	0.352	0.343	0.324	0.325	0.311	0.321	0.31	0.307
RMSE	0.695	0.699	0.695	0.687	0.694	0.686	0.682	0.683	0.668	0.651
MAD	0.386	0.383	0.379	0.374	0.379	0.37	0.371	0.372	0.364	0.354
Obs.	138610	136902	134125	126601	123477	121575	122208	119072	121655	120540
Variable	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Constante	2.4582***	2.5166***	2.5582***	2.57***	2.5992***	2.566***	2.62***	2.2243***	2.7758***	2.8326***
anios_esc	0.0822***	0.0795***	0.0754***	0.075***	0.0737***	0.0765***	0.0731***	0.1063***	0.0666***	0.0663***
exp	0.02***	0.0181***	0.0179***	0.017***	0.0174***	0.0188***	0.0172***	0.0314***	0.0156***	0.0158***
exp_2	-0.0002***	-0.0002***	-0.0002***	-0.0002***	-0.0002***	-0.0002***	-0.0002***	-0.0005***	-0.0002***	-0.0002***
gen	0.0365***	0.042***	0.0376***	0.0467***	0.0428***	0.0275***	0.0334***	-0.0086	0.0553***	0.0529***
tech	-0.054***	-0.0472***	-0.0501***	-0.0139	0.005	0.0201	-0.0082	-0.2076**	0.0411***	0.038***
exp x gen	-0.001***	-0.0008***	-0.0008***	-0.0009***	-0.0008***	-0.0003	-0.0004	0.0033	-0.0009***	-0.0006**
exp x tech	-0.0024***	-0.0023***	-0.0019***	-0.0031***	-0.0035***	-0.0034***	-0.0026***	-0.0149***	-0.0043***	-0.0033***
gen x tech	0.1014***	0.0876***	0.0857***	0.0368***	0.042***	0.0096	0.043***	-0.0393	-0.0042	0.0029
exp x gen x tech	0.0078***	0.0073***	0.0066***	0.0084***	0.0075***	0.0084***	0.0071***	0.0059	0.0085***	0.0078***
R2 Robusto	0.284	0.278	0.257	0.252	0.248	0.24	0.231	0.215	0.217	0.218
RMSE	0.662	0.645	0.646	0.651	0.647	0.687	0.678	0.598	0.659	0.656
MAD	0.363	0.351	0.351	0.353	0.349	0.37	0.362	0.359	0.351	0.349
Obs.	119262	116808	114248	114564	123353	102934	129952	3930	125509	122386

*** indica significancia estadística al 1 por ciento, ** indica significancia estadística al 5 por ciento y * indica significancia estadística al 10 por ciento.

Los estimadores MM (Yohai, 1987) se obtienen mediante una regresión robusta que permite mayor estabilidad ante un elevado número de datos atípicos y la falta de normalidad en la distribución de los datos. Se reportan medidas de evaluación de ajuste del modelo como el R2 Robusto, el RMSE (raíz del error cuadrático medio) y el MAD (desviación absoluta media). Estas estadísticas se complementan entre sí: el RMSE penaliza con mayor intensidad los errores extremos, mientras que el MAD ofrece una lectura más robusta frente a valores atípicos. El número de observaciones varía por año, lo cual puede influir en la magnitud de los errores de predicción. La estimación correspondiente a 2022 debe interpretarse con precaución debido a su bajo tamaño muestral; los valores de las series fueron imputados únicamente para fines gráficos.

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2
Evolución de las interacciones entre experiencia, género y sector tecnológico, (2005–2024)



Nota: las tres subgráficas muestran los coeficientes estimados de las interacciones entre experiencia, género y tipo de sector económico, obtenidos mediante regresiones robustas (MM) aplicadas a microdatos de la ENOE (2005–2024). Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95 %, mientras que la línea horizontal en cero indica el valor de referencia para evaluar la significancia estadística. En algunos años, los intervalos son relativamente amplios, lo que refleja la mayor incertidumbre asociada a la estimación de efectos interactivos. No obstante, la consistencia en el signo y la tendencia de los coeficientes permite identificar patrones robustos: los rendimientos de la experiencia se deprecian con mayor rapidez en los sectores con alta intensidad tecnológica, las diferencias por género son más pronunciadas en dichos contextos, y la triple interacción sugiere que las mujeres con experiencia laboral en estos sectores enfrentan una mayor volatilidad en sus retornos a lo largo del periodo analizado. La estimación correspondiente a 2022 debe interpretarse con precaución debido a su bajo tamaño muestral; los valores fueron imputados únicamente con fines de visualización gráfica.

Fuente: elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE).

c. *Simulaciones salariales diferenciadas por género y sector*

Con el objetivo de visualizar los efectos diferenciados del capital humano acumulado sobre los ingresos laborales, se realizaron simulaciones salariales a partir de dos modelos lineales estimados con una muestra combinada del periodo 2005–2024 (excluyendo el año 2022). Cada modelo incorpora interacciones entre género, sector tecnológico y, por separado, años de escolaridad o experiencia laboral potencial, permitiendo identificar trayectorias divergentes según los perfiles ocupacionales.

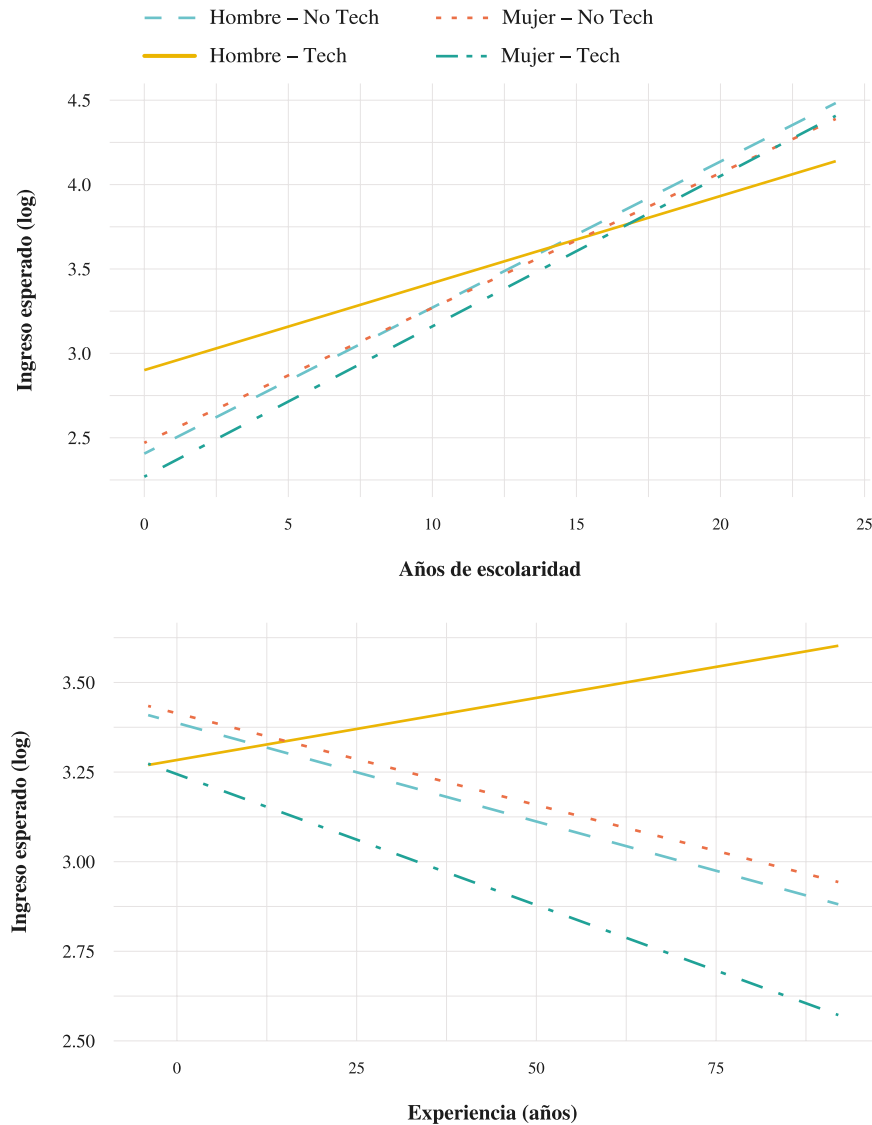
La elección de un enfoque lineal respondió a la necesidad de representar de forma clara y parsimoniosa las relaciones promedio entre variables, evitando la complejidad interpretativa que implicarían modelos no lineales o altamente parametrizados. Dado que el propósito de las simulaciones no es la predicción individual, sino la ilustración de tendencias estructurales en los rendimientos del capital humano, el modelo lineal proporciona una aproximación transparente y consistente con la especificación teórica de la ecuación de Mincer. En este sentido, las simulaciones utilizan coeficientes estimados sobre la base consolidada — distintos de los obtenidos mediante los modelos robustos anuales— con el fin de ofrecer una representación sintética y comparativa de los patrones promedio observados en la muestra.

El primer modelo estima el ingreso esperado en función de los años de escolaridad, mientras que el segundo lo hace respecto a la experiencia laboral. A partir de los coeficientes estimados de cada modelo, se generaron predicciones del ingreso esperado variando sistemáticamente la variable principal (escolaridad o experiencia) dentro del rango observado y manteniendo constantes las demás características (género y tipo de sector). Para cada combinación se calcularon predicciones puntuales del ingreso esperado (en logaritmo), acompañadas de intervalos de confianza al 95%.

La Gráfica 3 muestra estos resultados en dos paneles. En el panel superior, todos los grupos presentan una relación creciente entre escolaridad e ingreso esperado, lo cual sugiere que el capital educativo mantiene una valorización estable y positiva en el mercado laboral. No obstante, se observan diferencias estructurales: las mujeres, tanto en sectores tecnológicos como no tecnológicos, registran ingresos sistemáticamente más bajos para cada nivel educativo, mientras que los hombres en sectores con alta intensidad tecnológica alcanzan los valores más altos. Antes de los 15 años de escolaridad, destacan los hombres en sectores no tecnológicos con ingresos superiores al resto de los grupos. Este patrón se explica por la inserción temprana de trabajadores con baja escolaridad en ocupaciones operativas que ofrecen salarios relativamente altos desde el inicio de la trayectoria laboral, lo cual produce un efecto de “intercepto alto” aun cuando la pendiente del crecimiento salarial por escolaridad sea menor.

En el panel inferior, los contrastes por grupo se acentúan. Solo los hombres en sectores intensivos en conocimiento muestran una pendiente positiva en la relación entre experiencia y logaritmo del ingreso, lo que sugiere que, en estos sectores, la experiencia acumulada sigue siendo funcional y se premia mediante trayectorias estables y progresivas. En contraste, los hombres en sectores tecnológicos exhiben rendimientos marginales débiles de la experiencia, mientras que los demás grupos, especialmente las mujeres en sectores más intensivos en tecnología, exhiben una pendiente negativa, lo que indica una depreciación más rápida del capital humano en contextos de alta intensidad tecnológica. Esto podría explicarse por dinámicas de obsolescencia acelerada de habilidades, baja movilidad interna, y penalizaciones estructurales al envejecimiento y al género, especialmente en ocupaciones que demandan actualización continua.

Gráfica 3
Predicciones marginales del ingreso esperado según escolaridad y experiencia (logaritmo)



Nota: la estimación correspondiente a 2022 debe interpretarse con precaución debido a su bajo tamaño muestral. Estos fueron imputados con el fin de ser graficados. Aunque el cuerpo central del artículo utiliza estimaciones robustas por regresión MM, las simulaciones marginales aquí presentadas se obtuvieron mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) sobre la base consolidada del periodo 2005–2024 con fines exclusivamente ilustrativos. Esta elección se justifica porque las predicciones puntuales e intervalos de confianza se obtienen de manera más directa y estable con MCO, dado que las estimaciones se aplican sobre una base ya depurada y no se busca inferencia causal, sino visualización comparativa.

Fuente: elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE).

Cabe señalar que, aunque las trayectorias son visualmente diferenciables, los intervalos de confianza al 95% presentan traslapes entre los grupos, lo cual sugiere interpretar las diferencias con cautela estadística. Dichos traslapes indican que las brechas observadas, aunque sistemáticas, no siempre son estadísticamente significativas en todos los rangos de escolaridad o experiencia. Sin embargo, el hecho de que las curvas se

mantengan separadas en casi todo el dominio y que las pendientes difieran en signo y magnitud, refuerza la hipótesis de retornos diferenciados al capital humano según la interacción entre género, sector y etapa del ciclo laboral. En suma, estas simulaciones tuvieron un propósito ilustrativo: permitieron visualizar de forma agregada las trayectorias divergentes de ingreso esperadas según género y sector, que más adelante se confirman y cuantifican mediante los estimadores robustos anuales del modelo extendido.

d. *Discusión de resultados*

Los resultados econométricos evidencian transformaciones estructurales en la dinámica de los rendimientos al capital humano en el mercado laboral mexicano entre 2005 y 2024. En general, la educación se mantiene como el principal determinante de los ingresos laborales, aunque su rentabilidad marginal ha disminuido con el tiempo, mientras que la experiencia muestra signos claros de depreciación, especialmente en los sectores con alta intensidad tecnológica. Esto refleja una reconfiguración del mercado laboral donde los mecanismos de acumulación y retorno del capital humano se modifican progresivamente.

Los rendimientos educativos se mantienen elevados y estadísticamente significativos durante todo el periodo, con incrementos promedio de entre 7 % y 9 % en el ingreso por hora por cada año adicional de estudios. Sin embargo, se observa una tendencia descendente, lo que sugiere una pérdida gradual en la capacidad del sistema educativo para generar ventajas salariales diferenciadas. Este hallazgo coincide con la evidencia de Campos-Vázquez y Lustig (2017) y Ocegueda *et al.* (2024), quienes documentan un desajuste entre la expansión educativa y la creación de empleos de alta productividad en México. Dicho desajuste limita los beneficios marginales de la escolaridad y ayuda a explicar el descenso de los rendimientos educativos.

Con respecto a la experiencia laboral, los coeficientes estimados disminuyen de alrededor de 3 % en 2005 a poco más de 1.6 % en 2024, con un término cuadrático negativo y significativo en todos los años. Este comportamiento indica que el valor económico de la experiencia se ha erosionado con el tiempo, reflejando los efectos del cambio tecnológico, la rotación laboral y la pérdida de vigencia de habilidades rutinarias. La depreciación del capital humano, especialmente en los sectores innovadores, evidencia que la experiencia ya no constituye un activo homogéneo: su rentabilidad depende cada vez más de su actualización continua y de su pertinencia frente a nuevas tecnologías productivas.

El análisis por género y sector muestra que, aunque las mujeres han alcanzado niveles educativos similares o superiores a los de los hombres, las brechas salariales persisten. Los coeficientes asociados al género son positivos y significativos en promedio, pero presentan una tendencia descendente, lo que sugiere una disminución de la prima salarial masculina. La interacción entre género y sector tecnológico indica que los hombres en industrias intensivas en tecnología gozaron de una prima durante la primera mitad del periodo, pero dicha ventaja se debilita a partir de 2017 y pierde significancia en los años recientes. Esta inflexión podría vincularse con una mayor participación femenina en ocupaciones técnicas y con políticas de equidad salarial. No obstante, la presencia femenina en sectores tecnológicos sigue siendo inferior al 20 %, lo que mantiene una segmentación estructural en la distribución del empleo y en la acumulación de experiencia relevante. En consecuencia, las mujeres enfrentan una mayor exposición a la depreciación de su capital humano.

Por otro lado, la interacción entre experiencia y sector tecnológico se mantiene negativa y significativa durante la mayor parte del periodo analizado. Esto confirma que los rendimientos marginales de la experiencia son menores en los sectores de alta intensidad tecnológica y sugiere una depreciación más acelerada del capital humano en contextos donde la innovación constante vuelve obsoletas las habilidades específicas. Finalmente, la triple interacción entre experiencia, género y sector tecnológico presenta coeficientes positivos, pequeños y estables (en torno a 0.007–0.009), lo que indica una ventaja marginal para los hombres en dichos sectores, posiblemente asociada a su sobrerrepresentación en puestos de mayor especialización.

En términos generales y como reflexión final, se puede afirmar que, estas evidencias respaldan la urgencia de avanzar hacia políticas públicas orientadas a fomentar la actualización continua de competencias, garantizar trayectorias laborales protegidas y reducir las brechas estructurales en la valoración del capital humano. El diseño de mecanismos eficaces de reconversión laboral, especialmente en sectores de alta intensidad tecnológica, es una tarea ineludible para enfrentar los desafíos de la transformación productiva y la equidad en el acceso a los beneficios del crecimiento.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio confirman de manera sólida las tres hipótesis planteadas sobre la depreciación diferenciada del capital humano en México durante el periodo 2005–2024. En primer lugar, se demuestra que los retornos a la experiencia laboral varían sistemáticamente según el género y el tipo de sector económico, lo que revela una estructura heterogénea del mercado de trabajo mexicano.

En segundo lugar, se confirma que la depreciación del capital humano es más acelerada en los sectores con alta intensidad tecnológica. Los coeficientes promedio del periodo muestran que los retornos marginales a la experiencia en estas actividades son entre 0.2 % y 0.4 % menores por año trabajado en comparación con los sectores intensivos en conocimiento, lo que refleja una penalización tecnológica persistente. En conjunto, el rendimiento medio de la experiencia en el mercado laboral mexicano pasó de aproximadamente 3 % en 2005 a 1.6 % en 2024, lo que implica una reducción cercana al 50 % en dos décadas. Este comportamiento obedece al avance tecnológico, la reorganización productiva y la sustitución de tareas rutinarias, factores que reducen la rentabilidad de la experiencia acumulada y aumentan su vulnerabilidad frente a la obsolescencia de las habilidades.

En tercer lugar, el análisis por género y tipo de sector evidencia que las trayectorias de depreciación son más pronunciadas para las mujeres, especialmente en los sectores con alta intensidad tecnológica. Aunque las mujeres presentan, en promedio, mayores niveles de escolaridad, sus retornos a la experiencia son alrededor de 0.1 puntos porcentuales menores por año en los sectores intensivos en conocimiento, esta brecha se amplía hasta 0.7–0.9 puntos porcentuales a favor de los hombres en los sectores de alta intensidad tecnológica. Este diferencial, observable en la interacción entre experiencia, género y sector, indica que los hombres en industrias tecnológicamente avanzadas logran mantener rendimientos positivos de la experiencia, mientras que las mujeres enfrentan una depreciación más rápida de su capital humano.

Las simulaciones salariales elaboradas a partir de los modelos lineales refuerzan este patrón, mostrando que los ingresos esperados aumentan con la experiencia en todos los grupos, pero con pendientes sustancialmente menores para las mujeres en los sectores con alta intensidad tecnológica. Mientras que los hombres en dichas actividades presentan rendimientos de entre 2.7 % y 2.9 % por año de experiencia, las mujeres apenas alcanzan entre 1 % y 1.5 %, lo que se traduce en brechas crecientes conforme se acumula antigüedad laboral. Estas diferencias ilustran cómo la aceleración tecnológica amplifica las asimetrías en los retornos a la experiencia y profundiza la desigualdad de género en la valorización del capital humano, en contraste con la mayor estabilidad —aunque con menores niveles salariales promedio— observada en los sectores intensivos en conocimiento.

Asimismo, los resultados muestran que los hombres en sectores no tecnológicos son el único grupo que mantiene una trayectoria ascendente del ingreso conforme se acumula experiencia, lo que subraya el papel de la estabilidad estructural y del ritmo lento de innovación como factores que protegen el valor de la experiencia. En cambio, la interacción entre género y tecnología tiende a erosionar los beneficios de la experiencia acumulada

en el tiempo, generando brechas persistentes en los retornos laborales. A pesar de que los intervalos de confianza en las simulaciones presentan traslapes, las trayectorias diferenciadas y los signos opuestos en las pendientes refuerzan la validez estructural de estos hallazgos.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el carácter transversal de los datos, que impide observar trayectorias individuales reales y restringe las inferencias causales estrictas. Además, se reconoce que el año 2022 presenta inconsistencias atribuibles al tamaño muestral reducido y a problemas de codificación en la ENOE, por lo que sus resultados deben interpretarse con cautela.

Este trabajo abre múltiples líneas de investigación para el futuro. Es necesario explorar los mecanismos institucionales y organizacionales que amplifican o mitigan la depreciación del capital humano, así como evaluar de manera sistemática el papel de las políticas públicas en la generación de entornos laborales más resilientes frente al cambio tecnológico. La incorporación de enfoques longitudinales y el análisis de otras dimensiones de la desigualdad —como la región, la clase social o el origen étnico—, permitirá avanzar hacia una comprensión más integral del fenómeno.

En conjunto, la evidencia empírica sugiere que México transita de un modelo clásico de acumulación de capital humano, caracterizado por rendimientos estables de la educación y la experiencia, hacia un escenario fragmentado y heterogéneo, donde los retornos son crecientemente sensibles al cambio tecnológico y a la estructura de oportunidades laborales. Este proceso refuerza la necesidad de políticas de formación continua, reconversión laboral e inclusión femenina en sectores tecnológicos, para contrarrestar los efectos de la depreciación acelerada y garantizar una inserción equitativa en la economía del conocimiento.

REFERENCIAS

- Acemoglu, D. y Autor, D. (2010). Chapter 12 - Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. En D. Card y O. Ashenfelter (Eds.), *Handbook of labor economics* (Vol. 4, Part B, pp. 1043-1171). North Holland. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(11\)02410-5](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(11)02410-5)
- Angrist, J. D. y Pischke, J. S. (2009). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton University Press.
- Arrazola, M. y Hevia, J. (2003). Medición del capital humano y análisis de su rendimiento. Papeles de trabajo del Instituto de Estudios Fiscales, (22), 3-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=871044>
- Becker, G. S. (1962). Investment in human capital: A theoretical analysis. *The Journal of Political Economy*, 70(5), 9-49.
- Becker, G. S. (1993). *Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education*. University of Chicago Press.
- Blau, F. D. y Kahn, L. M. (2017). The gender wage gap: Extent, trends, and explanations. *Journal of Economic Literature*, 55(3), 789-865. <https://doi.org/10.1257/jel.20160995>
- Braverman, H. (1974). Labor and monopoly capital: The degradation of work in the twentieth century. *Monthly Review*, 26(3), 1-64. <https://doi.org/10.14452/MR-026-03-1974-07>
- Campos-Vazquez, R. M. y Lustig, N. (2017). Labour income inequality in Mexico. Puzzles solved and unsolved. *WIDER Working Paper*, 1-37. <https://doi.org/10.35188/UNU-WIDER/2017/412-4>
- Castillo, A. (2015). Retornos y depreciación del capital humano, un análisis empírico para México durante 2011-2014. En *XIV Concurso Nacional de Ponencias Jesús Antonio Bejarano* (pp. 1-30). Federación Nacional de Estudiantes de Economía (FENADECO). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3168.0720/1>

- Castillo-Aroca, A. (2016). Depreciación del capital humano en la Alianza del Pacífico durante 2007-2014. *Ciencias Económicas*, 34(1), 9-46. <https://doi.org/10.15517/rce.v34i1.24498>
- De Grip, A. y Van Loo, J. (2002). The economics of skills obsolescence: A review. En A. De Grip, J. Van Loo y K. Mayhew (Eds.), *The economics of skills obsolescence: Theoretical innovation and empirical applications* (pp. 1-26). Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/S0147-9121\(02\)21003-1](https://doi.org/10.1016/S0147-9121(02)21003-1)
- Dubin, S. (1972). Obsolescence or lifelong education. *American Psychologist*, 27(5), 486-498. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0033050>
- England, P., Farkas, G., Stanek, B. y Thomas, D. (1988). Explaining occupational sex segregation and wages: Findings from a model with fixed effects. *American Sociological Review*, 53(4), 544-558. <https://doi.org/10.2307/2095848>
- Galindo-Rueda, F. y Verger, F. (2016). *OECD taxonomy of economic activities based on R&D intensity* (OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2016/04). OECD Publishing. <https://dx.doi.org/10.1787/5jlv73sqqp8r-en>
- Ge, S. y Zhou, Y. (2020). Robots, computers, and the gender wage gap. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 178, 194-222. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2020.07.014>
- Goldin, C. y Katz, L. F. (2008). The race between education and technology. En C. Goldin y L. F. Katz (Eds.), *The race between education and technology* (pp. 287-323). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9x5x.11>
- Grigera, J. y Nava, A. (2021). El futuro del trabajo en América Latina: crisis, cambio tecnológico y control. *El Trimestre Económico*, 88(4), 1011-1042. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i352.1242>
- Heckman, J. J., Lochner, L. J. y Todd, P. E. (2006). Chapter 7. Earnings functions, rates of returns and treatment effects: The Mincer equation and beyond. En E. Hanushek y W. Finis (Eds.), *Handbook of the economics of education* (pp. 307-458). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S1574-0692\(06\)01007-5](https://doi.org/10.1016/S1574-0692(06)01007-5)
- Hernanz, V. y Jimeno, J. F. (2018). Inestabilidad laboral en el empleo, duración del desempleo y depreciación del capital humano. *Cuadernos Económicos de ICE*, (95), 35-56. <https://doi.org/10.32796/cice.2018.95.6641>
- Huber, G., Ocegueda, M. T. y Pimienta, R. B. (2024). Educación y desigualdad salarial por género en México. En J. M. Hernández, N. R. Angulo y R. V. Llamas (Eds.), *El papel de la educación en el desarrollo económico y social de México* (pp. 91-124). Ediciones del Lirio. https://www.researchgate.net/publication/378872486_Educacion_y_desigualdad_salarial_por_genero_en_Mexico
- Kunze, A. (2002). The timing of careers and human capital depreciation. *IZA Discussion Paper Series*, (509), 1-39. <https://hdl.handle.net/10419/21432>
- Lentini, V. y Gimenez, G. (2019). Depreciation of human capital: a sectoral analysis in OECD countries. *International Journal of Manpower*, 40(7), 1254-1272. <https://doi.org/10.1108/IJM-07-2018-0207>
- Londoño-Restrepo, S. H., Sepúlveda-Aguirre, J., Echeverry-Gutiérrez, C. A. y Garcés-Giraldo, L. F. (2018). Cambio tecnológico y capital humano: Contrapeso entre evolución y depreciación. *Revista Venezolana de Gerencia*, 23(81), 180-201. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29055767011>
- Martínez-Gutiérrez, B. M. (2012). *Efectos de depreciación en el capital humano: evidencia empírica por nivel de cualificación y ramas de actividad en Colombia*. Universidad del Valle. <https://hdl.handle.net/10893/3737>
- Mincer, J. (1974). *Schooling, experience and earnings*. National Bureau of Economic Research (NBER). <https://www.nber.org/books-and-chapters/schooling-experience-and-earnings>
- Mincer, J. y Ofek, H. (1982). Interrupted work careers: Depreciation and restoration of human capital. *The Journal of Human Resources*, 17(1), 3-24. <https://doi.org/10.2307/145520>
- Mincer, J. y Polachek, S. (1974). Family investments in human capital: Earnings of women. *Journal of Political Economy*, 82(2), S76-S108. <https://doi.org/10.1086/260293>

- Murillo, I. (2006). Depreciación del capital humano: una aproximación por sectores, por ocupación y en el tiempo. En *XIII Encuentro de Economía Pública* (p. 21). Universidad de Almería. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3132358>
- Murillo, I. P. (2011). Human capital obsolescence: some evidence for Spain. *International Journal of Manpower*, 34(4), 426-445. <https://doi.org/10.1108/01437721111148540>
- Neuman, S. y Weiss, A. (1995). On the effects of schooling vintage on experience-earnings profiles: Theory and evidence. *European Economic Review*, 39(5), 943-955. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(94\)00019-V](https://doi.org/10.1016/0014-2921(94)00019-V)
- Ocegueda, M. T., Huber, G. y Pimienta, R. B. (2024). Educación, experiencia laboral y desigualdad salarial por género entre las regiones de México. En J. M. Ocegueda Hernández y R. Varela Llamas (Eds.), *La economía mexicana desde una perspectiva regional* (pp. 105-132). Ediciones Del Lirio.
- Orozco, M. (2023). *Misallocation of resources, firm characteristics, and structural factors: Evidence from Mexico* (Documento de Investigación). Banco de México. <https://www.banxico.org.mx/publications-and-press/banco-de-mexico-working-papers/%7B9B399341-66BC-7D37-0EEE-26EFEF34FAAC%7D.pdf>
- Pieters, J., Kujundzic, A., Burger, R. y Gondwe, J. (2025). Inequality at risk automation? Gender differences in routine tasks intensity in developing country labor markets. En R. Albrieu (Ed.), *Cracking the future of work: Automation and labor platforms in the global south* (pp. 82-147). CIPPEC. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.07689>
- Rodríguez Pérez, R. E. y Castro Lugo, D. (2012). Efectos del cambio tecnológico en los mercados de trabajo regionales en México. *Estudios Fronterizos*, 13(26), 141-174. <https://doi.org/10.21670/ref.2012.26.a06>
- Sandell, S. H. y Shapiro, D. (1978). An exchange: The theory of human capital and the earnings of women: A reexamination of the evidence. *The Journal of Human Resources*, 13(1), 103-117. <https://doi.org/10.2307/145304>
- Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American Economic Review*, 51(1), 1-17. <https://www.jstor.org/stable/1818907>
- Simón, N. (2020). *Cambio tecnológico y el mercado laboral. Aportes para la identificación de las ocupaciones emergentes en Colombia*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46655-cambio-tecnologico-mercado-laboral-aportes-la-identificacion-ocupaciones>
- van Loo, J., de Grip, A. y de Steur, M. (2001). Skills obsolescence: causes and cures. *International Journal of Manpower*, 22(1-2), 121-138. <https://doi.org/10.1108/01437720110386430>
- Vázquez-López, R. (2013). Heterogeneidad estructural y sus determinantes en la manufactura mexicana, 1994-2008. *Revista CEPAL*, (111), 125-141. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/65a4dda1-3016-45d8-91f7-b3e7cfe267cc/content>
- Vignoli, G. (2012). *Tasa de depreciación de capital humano: Evidencia empírica para Argentina* (Serie Documentos de Trabajo, No. 498). Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA). <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/498.pdf>
- Walter, S. y Lee, J. D. (2025). How susceptible are skills to obsolescence? A task-based perspective of human capital depreciation. *Foresight and STI Governance*, 16(2), 32-41. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.2.32.41>
- Weber, S. (2014). Human capital depreciation and education level. *International Journal of Manpower*, 35(5), 613-642.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. The MIT Press. <https://ipcid.org/evaluation/apoio/Wooldridge%20-%20Cross-section%20and%20Panel%20Data.pdf>
- Yohai, V. J. (1987). High breakdown-point and high efficiency robust estimates for regression. *The Annals of Statistics*, 15(2), 642-656. <https://doi.org/10.1214/aos/1176350366>

Brecha salarial y pobreza en México: un análisis con perspectiva de género**Wage gap and poverty in Mexico: an analysis from a gender perspective**

Omar Ricárdez-González*, Juan Marroquín-Arreola** y David Robles-Ortiz***

*Instituto Politécnico Nacional	Correo electrónico: oricardezg1600@alumno.ipn.mx		
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0230-3833>		**Instituto Politécnico Nacional	Correo electrónico: jmarroquinar@ipn.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3981-1842>		***Instituto Politécnico Nacional	Correo electrónico: drobleso@ipn.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9814-8315>	**RESUMEN**		

El objetivo de este artículo es analizar el impacto de la brecha salarial de género sobre las condiciones de pobreza en México desde una perspectiva regional, de tal manera que se determinen recomendaciones de política que promuevan un mercado laboral equitativo, reduzcan la brecha salarial y disminuyan los niveles de pobreza. Para lo cual se exploran las cuestiones de pobreza desde el mercado laboral, la brecha salarial entre hombres y mujeres y se determina si existe una relación negativa o positiva, directa o indirecta entre las variables. Los resultados muestran que la desigualdad salarial conlleva brechas de acceso a bienes y servicios por la diferencia de salarios dentro de un mismo mercado laboral.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the impact of the gender pay gap on poverty conditions in Mexico from a regional perspective, in order to develop policy recommendations that promote an equitable labor market, reduce the pay gap, and decrease poverty levels. To this end, the article explores poverty issues from the perspective of the labor market, the gender pay gap, and determines whether there is a negative or positive, direct or indirect relationship between these variables. The results show that wage inequality leads to gaps in access to goods and services due to wage differences within the same labor market.

Recibido: 23/junio/2025
Aceptado: 12/noviembre/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Brecha salarial de género |
| Pobreza |
| Mercado laboral |
| Modelo de datos de panel |

Keywords:

| Gender wage gap |
| Poverty |
| Labor market |
| Panel data model |

Clasificación JEL |

JEL Classification |
D63, J31, I32

INTRODUCCIÓN

La desigualdad salarial de género es una problemática persistente en muchas sociedades alrededor del mundo que refleja las disparidades en los ingresos entre hombres y mujeres por realizar trabajos similares o de igual valor. A pesar de los avances en los derechos laborales y la igualdad formal, las mujeres continúan ganando en promedio menos que los hombres, enfrentando obstáculos como la discriminación, los estereotipos de género, la segregación laboral y la desigualdad en el acceso a cargos de liderazgo. Esta brecha salarial no solo impacta la economía de las mujeres, sino que también alimenta desigualdades más amplias y refuerza roles de género tradicionales en distintos ámbitos.

La brecha salarial se refiere a la diferencia en los ingresos que perciben diferentes grupos de personas, típicamente discriminados por género, raza, origen étnico, nivel educativo, edad o discapacidad. Esta disparidad



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

refleja desigualdades estructurales en los mercados laborales y en las sociedades en general. Por ejemplo, en muchos países, las mujeres ganan en promedio menos que los hombres por realizar trabajos similares, una situación que se atribuye a factores como la discriminación, la segregación ocupacional y las diferencias en la negociación salarial.

En 2015 las mujeres que trabajaban a tiempo completo durante todo el año ganaban solo 80 centavos por cada dólar que ganaban los hombres (Hegewisch, 2016). El avance hacia la equidad salarial ha sido tan lento que, de mantenerse este ritmo, las mujeres no alcanzarían la igualdad salarial sino hasta el año 2059.

Las brechas salariales contribuyen significativamente a la persistencia de la pobreza. Cuando ciertos grupos enfrentan salarios insuficientes o discriminatorios, su capacidad para mejorar sus condiciones de vida se ve limitada. Asimismo, impide que los hogares más vulnerables acumulen recursos, lo que perpetúa ciclos de pobreza intergeneracional. Sin olvidar la desigualdad en los ingresos, traducida en una distribución desigual de recursos y servicios públicos, agravando las desigualdades existentes. Por ejemplo, si las mujeres reciben salarios menores, también tienen menos posibilidades de acceder a educación de calidad, atención médica y mejores empleos, creando un círculo vicioso que mantiene a las personas en situación de pobreza.

Hablar de la brecha salarial de género no es solo hablar de una paridad desigual de ingresos entre hombres y mujeres, sino de cómo afectan al desarrollo económico, la productividad y a los contextos socioculturales. A su vez, la pobreza es una variable que afecta al ingreso, al gasto social y a distintos sectores económicos; por lo tanto, la pobreza y la brecha salarial de género pueden encontrarse relacionadas a través del ingreso.

También se puede inferir que el mercado laboral es un factor causante directa o indirectamente del déficit de calidad de vida. Primero, porque la brecha salarial es dada en un contexto de mercado laboral y, segundo, por el concepto de pobreza laboral.

De acuerdo con datos de IMCO (2022) la brecha salarial ha permanecido en una constante del 2009 al 2019 de al menos 15% en promedio. Por otro lado, INEGI (2023), a través de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), menciona que durante esos años (2010-2019) se mantuvo en un promedio de 22%, salvo en el 2020 que tuvo una disminución, pero de 2021 a 2022 vuelve a crecer. Es decir, la brecha salarial, salvo en el 2020, no ha disminuido en los últimos años.

El análisis comparativo del periodo 2008-2022 revela que la dinámica de la pobreza femenina ha estado fuertemente alineada con los movimientos de la brecha salarial de género. Específicamente, el incremento relativo de la pobreza de las mujeres (2008-2018) y su subsiguiente descenso (2020-2022) coincide con los cambios observados en la desigualdad salarial. Esto lleva a proponer que una disminución en la brecha salarial ejerce un efecto directo y positivo en la reducción de la pobreza de las mujeres.

En consecuencia, la hipótesis de esta investigación establece que la brecha salarial de género actúa como un determinante negativo de la situación de pobreza que enfrentan las mujeres. Con el objetivo de analizar el impacto de la brecha salarial de género en las condiciones de pobreza en México desde una perspectiva regional. En este sentido, se exploran las cuestiones de pobreza desde el mercado laboral, la brecha salarial entre hombres y mujeres y si existe una relación negativa o positiva, directa o indirecta entre las variables.

El documento se estructura en cuatro secciones. En la primera, se expone una revisión de la literatura sobre brecha salarial y pobreza. En la segunda sección se elabora un análisis descriptivo sobre la evolución de las variables en el tiempo. En la tercera, se expone la metodología y el origen de los datos. En la cuarta sección, se lleva a cabo la estimación del modelo y el análisis de resultados. Finalmente, se exponen las conclusiones.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La brecha salarial, definida como la diferencia en los ingresos entre distintos grupos, generalmente entre hombres y mujeres, o entre diferentes niveles de educación y experiencia, se ha asociado con múltiples factores estructurales y culturales. La pobreza, por su parte, representa una condición de privación de recursos esenciales que limita las oportunidades y el bienestar de las personas. La relación entre la brecha salarial y la pobreza es compleja y bidireccional: mientras que una alta desigualdad salarial puede contribuir a mantener o aumentar la pobreza, la presencia de pobreza puede limitar las posibilidades de movilidad social y salarial.

La brecha salarial ha sido abordada desde distintas perspectivas. Según Blau y Kahn (2017) uno de los enfoques más comunes es el análisis de la diferencia en ingresos entre mujeres y hombres en el mercado laboral, conocido como brecha de género. Esta diferencia puede explicarse por diversos factores, como la discriminación, las diferencias en la formación, la experiencia laboral, las horas trabajadas y las ocupaciones elegidas. Sin embargo, otros estudios, como el de Padavic y Reskin (2002), argumentan que la brecha también refleja normas sociales y culturales que asignan roles de género, afectando las oportunidades y decisiones laborales.

Por otro lado, la brecha salarial también puede entenderse en términos de desigualdades entre diferentes grupos socioeconómicos, niveles educativos o regiones geográficas. La literatura coincide en que estas diferencias no son solo resultado de decisiones individuales, sino que están mediadas por estructuras sociales y económicas que favorecen ciertos grupos sobre otros (Kalleberg, 2011).

Algunas investigaciones identifican múltiples factores que explican la existencia y persistencia de la brecha salarial. Blau y Kahn (2017) destacan que las diferencias en capital humano, como la educación y la experiencia, explican parcialmente la brecha, pero no en su totalidad. La discriminación laboral, tanto explícita como implícita, sigue siendo un elemento clave como lo señalan Bertrand y Mullainathan (2004), quienes documentaron prácticas discriminatorias en el proceso de selección laboral.

Además, la segmentación del mercado de trabajo que divide a los trabajadores en diferentes segmentos con distintas condiciones laborales y salariales contribuye a mantener estas brechas (Doeringer y Piore, 1971). La segregación ocupacional, donde ciertos grupos están confinados a trabajos específicos con menores salarios, también es un factor relevante. La literatura también resalta el impacto de las políticas públicas o la falta de ellas, en la reducción o aumento de estas brechas (ILO, 2018).

La literatura ha demostrado que la brecha salarial puede tener efectos directos e indirectos sobre la pobreza. Según Atkinson (2015), altas desigualdades en ingresos dificultan la movilidad social y perpetúan ciclos de pobreza intergeneracional. La brecha salarial, al concentrar los ingresos en ciertos grupos, limita la capacidad de las familias en situación de pobreza para acceder a recursos básicos y oportunidades de desarrollo.

Por otra parte, la pobreza puede limitar las oportunidades laborales y la posibilidad de acceder a empleos mejor remunerados, creando un círculo vicioso. La falta de formación, la discriminación y la exclusión social impiden que los individuos en pobreza puedan superar su situación, incluso en contextos de crecimiento económico general (World Bank, 2020).

México se caracteriza por una alta desigualdad en la distribución del ingreso, situación que se refleja en las diferencias salariales entre distintos sectores económicos, regiones y grupos sociales. Según el informe sobre Desarrollo Humano de México 2020, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el país presenta un coeficiente de Gini de aproximadamente 0.45, indicando una distribución desigual del ingreso. La brecha salarial entre el sector formal e informal, así como entre hombres y mujeres, contribuyen significativamente a esta disparidad.

Otros estudios señalan que los bajos salarios en sectores informales y en zonas rurales, junto con la concentración de empleo en actividades de baja productividad, agravan la brecha salarial. Por ejemplo, Mendoza *et al.*, (2020) destacan que la precarización laboral y la falta de acceso a empleos formales bien remunerados son causas estructurales de la desigualdad salarial en México.

La desigualdad salarial por género también es conocida como brecha salarial. Contreras y Rodríguez (2021) conceptualizan la brecha salarial por género como la diferencia salarial entre hombres y mujeres calculada con base en los ingresos mensuales. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su área para mujeres fortalece la idea sobre la brecha salarial como un diferencial, pero también como una tasa porcentual para medir el crecimiento o decrecimiento de la desigualdad (ONU Mujeres, 2023). Este diferencial de salarios da la premisa que no todas las personas obtienen un mismo ingreso, lo cual es natural puesto que no todos los trabajos por su naturaleza son iguales, lo que destaca es que la brecha mide trabajos con similitudes, es decir, no diferencia entre el salario de una abogada y un doctor, sino que las personas deben cumplir ciertas características que las hagan similares y con ello poder realizar la comparación. Jabbaz *et al.*, (2019) analizan las causas de la brecha salarial por género, como lo son las horas laborales, si son derechohabientes, los beneficios y las problemáticas que se pueden encontrar en un trabajo.

Angulo (2021) realizó un estudio con base en el índice *ClosinGap*¹ para determinar cómo la brecha afecta a la calidad de vida de las familias, para ello en una modelación logarítmica utilizó variables de consumo en alimentos, educación y bienes de salud, para estimar el comportamiento de la paridad de género. Concluyendo que la desigualdad salarial afecta en mayor medida al consumo en bienes de primera necesidad, siendo un factor que puede llevar a la carencia alimentaria o de tener a las personas en pobreza en general.

Goldin (2021) señala que una de las medidas óptimas para reducir la desigualdad salarial se encamina a mejorar los entornos laborales, como la dinámica del trabajador con su empresa, y va más allá de tener prestaciones y beneficios (los cuales son necesarios para el trabajador), sino de tener entornos fuera de la discriminación laboral, la violencia y acoso laboral. Trujillo (2022) concluye que la brecha salarial por género disminuye si el mercado laboral se reestructura de tal manera que considere una política salarial justa y una política social direccionada para atacar la discriminación.

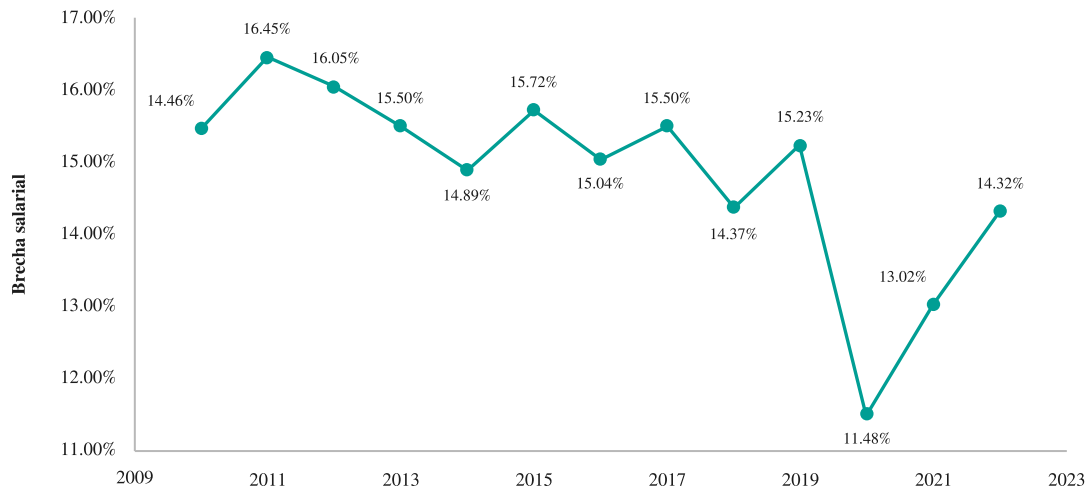
Puma y Redobrán (2023) determinan que la discriminación afecta negativamente al consumo y al ahorro, puesto que esta acción es causante de efectos como el salario injusto, el pago no completo de una jornada laboral, las horas extras no pagadas, entre otros aspectos, por lo que las familias no generan un ingreso suficiente para poder consumir eficientemente y menos para ahorrar. Bucaram *et al.*, (2023) mencionan que la discriminación afecta al desarrollo socioeconómico de una sociedad, lo cual rompe con la hipótesis sobre el aumento de ingresos para disminuir la brecha, aunque se busque aumentar más el salario mínimo o las prestaciones, sí el entorno laboral es violento entonces la hipótesis de aumentar el ingreso, no se cumple. Con todo, la brecha afecta los ingresos, reflejado en la adquisición de bienes y servicios, lo cual incentiva la pobreza o ciertas carencias relacionadas a él.

1. Índice Salarial en España para medir la paridad de género en los salarios.

II. LA RELACIÓN ENTRE BRECHA SALARIAL Y POBREZA EN EL CONTEXTO MEXICANO

De acuerdo con la gráfica 1 la brecha salarial tuvo una evolución casi constante desde 2010 hasta 2019, en el 2020 el comportamiento es interesante, porque hubo una disminución drástica de la brecha salarial. Esto se debe a la crisis sanitaria por COVID-19, donde el mercado laboral sufrió una dinámica que afectó a hombres y mujeres por igual.

Gráfica 1
Brecha Salarial entre hombres y mujeres en México, 2010 a 2022

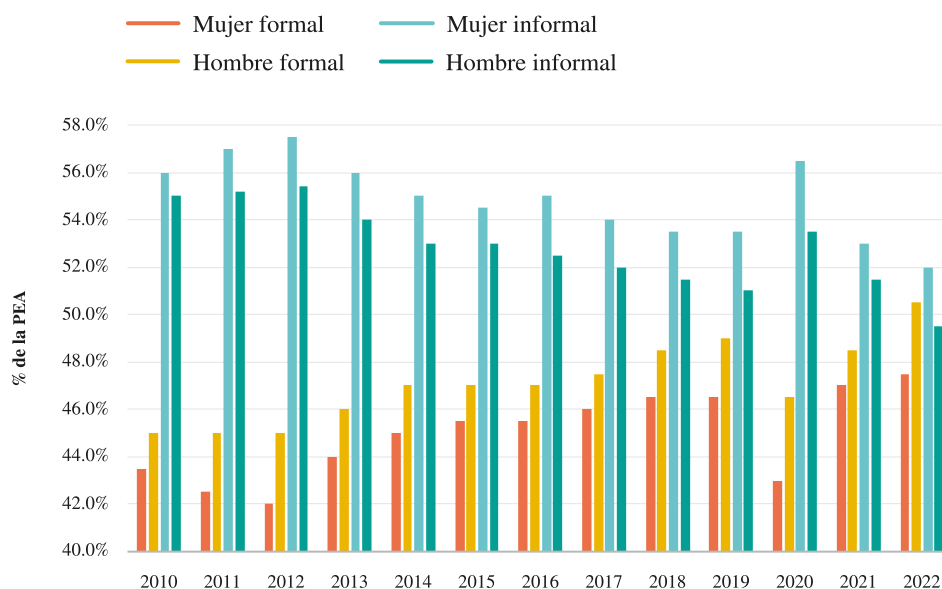


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2023).

En la Gráfica 1 se aprecia que en los años 2021 y 2022 la brecha vuelve aumentar, sugiriendo que la disminución de las desigualdades únicamente se dará en eventos económicos críticos. En este sentido, es necesario estudiar cómo se encuentra el mercado laboral en términos absolutos, es decir, cuantas personas se tienen empleadas, con la razón de observar la cantidad a la que puede afectar este problema de desigualdad. En México, de acuerdo con la ENOE, la población que trabaja, que percibe un salario o remuneración por un trabajo u oficio, se le considera Población Económicamente Activa Ocupada (PEA Ocupada). Este sector se subdivide de distintas formas, una de ellas es en el sector formal e informal.

De acuerdo con la Gráfica 2, la PEA Ocupada se encuentra mayormente en el sector informal y hay mayor número de hombres laborando en este sector que de mujeres. Dado las cifras oficiales del INEGI, la economía mexicana se encuentre en su mayoría en el sector informal, por lo tanto, la economía informal puede ser causal de la brecha salarial en México. Sin embargo, habría que observar si esto afecta directamente, de manera inversa, positiva o negativamente.

Gráfica 2
PEA Ocupada segmentado por hombres y mujeres



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2023).

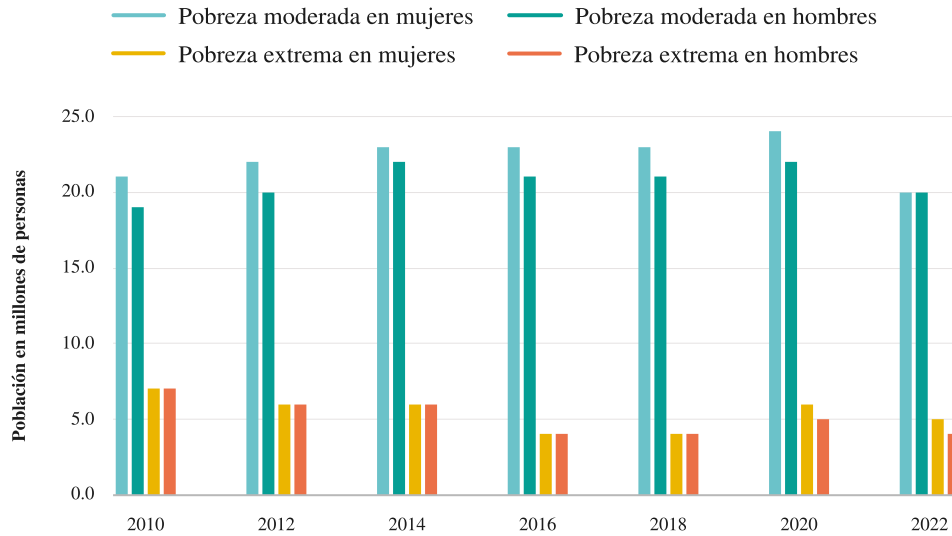
Si la brecha salarial se presenta mayormente en hombres, entonces se tendría una idea sobre que la brecha salarial ha estado afectando más a hombres que a mujeres. Sin embargo, para determinar el grado de afectación y concluir que es la población de hombres la más afectada, es conveniente analizar el espacio de la pobreza, porque si esa brecha conlleva a una vulnerabilidad social que es la pobreza, entonces sí se debe observar en qué población tiene un efecto relevante.

La metodología de la pobreza en México es multidimensional como lo establece el Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2024). En otras palabras, una persona no es pobre únicamente por sus ingresos, puede serlo por otras cuestiones sociales, culturales, socioeconómicas, entre otras. Lo anterior no significa que el ingreso no importa, sino que no es la única razón para medir los niveles de pobreza. Para este estudio sí se consideran los ingresos por dos cuestiones: primeramente, porque se habla de salarios; por lo tanto, el ingreso es un factor inherente en las variables. Segundo, por la cuestión multidimensional que vuelve más complejo el estudio, para estudiar la pobreza a través del ingreso se consideran las poblaciones de pobreza moderada y extrema.²

Con base en lo anterior, se considerará a la población en pobreza moderada y extrema segmentada en hombres y mujeres, lo cual se puede observar en la Gráfica 3, donde la población mayormente en pobreza moderada es la de mujeres y después la de hombres en el mismo umbral. En niveles más bajos se encuentra la población en pobreza extrema tanto en hombres como mujeres.

2. Dentro de la medición de la pobreza, la “moderada” es para aquellas personas que los ingresos no son suficientes para la vida plena, pero al menos lo son para la canasta alimentaria básica. Mientras que la pobreza “extrema” es aquella vulnerabilidad donde los ingresos no son suficientes para la canasta alimentaria básica

Gráfica 3
Población en pobreza segmentada, 2010 a 2022



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

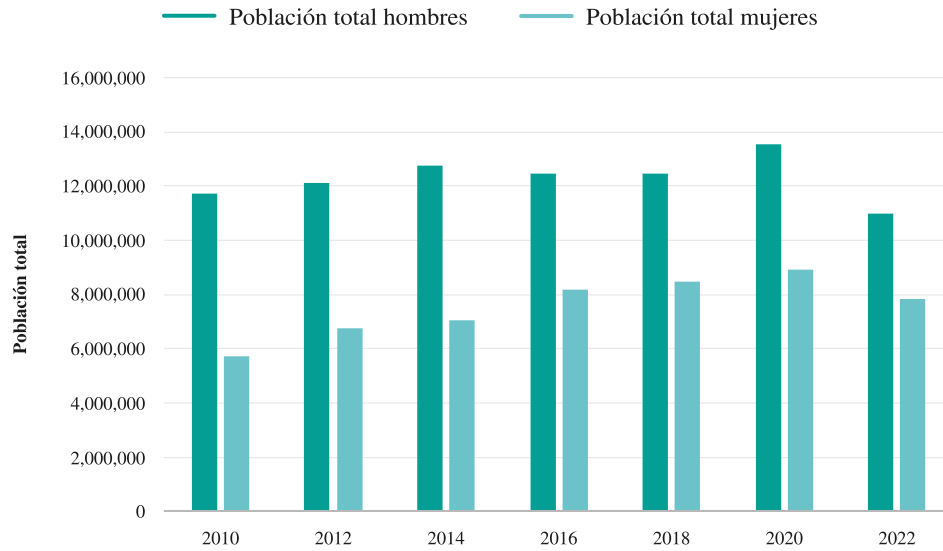
En la Gráfica 3 se puede observar que, aunque exista mayor nivel de informalidad por parte de los hombres (Gráfica 2), la población que más se ve afectada por los niveles de calidad de vida son las mujeres, tanto a nivel de pobreza moderada como extrema. Sin embargo, lo anterior invita a realizarse las siguientes preguntas ¿Cuál es la relación entre la pobreza y la brecha salarial o ¿Cuál es la relación de la pobreza y dicha brecha salarial en el mismo mercado laboral?

El trabajo en México es medido por la ENOE y se pueden analizar otros factores como la pobreza laboral,³ entendida como aquella situación donde los ingresos percibidos por un trabajo no son suficientes.

Por lo tanto, aunque una persona se encuentra en la informalidad, los ingresos que percibe pueden ser deficientes o incluso las carencias sociales podrían no estar presentes. Por ello, aunque haya más hombres en la informalidad, no sería prudente concluir que son los que mayormente se ven afectados, sino que hay que analizar la variable de pobreza laboral. De acuerdo con la Gráfica 4, la población de mujeres son las que mayormente se encuentran en tal situación, sean formales o informales.

3. El CONEVAL mide la pobreza laboral con el índice de tendencia laboral de la pobreza (ITLP).

Gráfica 4
PEA Ocupada en situación de pobreza laboral



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2023).

La Gráfica 4 muestra que hay mayor población de mujeres en la informalidad y en pobreza laboral; por lo tanto, esto podría ser una causante del comportamiento de la brecha salarial en México. Para corroborar lo anterior, se realiza un modelo econométrico que ayude a comprobar formalmente que debido a la brecha las familias lideradas por mujeres se encuentran en pobreza.

III. METODOLOGÍA Y DATOS

Para poder determinar la relación entre la pobreza, la brecha salarial y el sistema laboral de hombres y mujeres se hace uso de un modelo econométrico de datos panel. Según Stock y Watson (2012) los datos panel consisten en observaciones sobre las mismas n entidades individuales para dos o más periodos de tiempo T . Si el conjunto de datos consta de las observaciones sobre las variables X e Y . Cuando se describen datos de sección cruzada resulta útil utilizar un subíndice para expresar el individuo o entidad individual; por ejemplo, Y_i se refiere a la variable Y para la i -ésima entidad individual. Cuando se describen los datos de panel, se necesita una notación adicional para realizar un seguimiento tanto de la entidad individual como del periodo de tiempo. Esto se hace mediante dos subíndices en lugar de uno: el primero, i , se refiere a la entidad individual, y el segundo, t , se refiere al periodo de tiempo de la observación. Por lo tanto, Y_{it} expresa la variable Y observada para la i -ésima de las n entidades individuales en el t -ésimo de los T periodos. El modelo se expresa de la siguiente forma:

$$Y_{it} = \alpha_i + X_{it}\beta + u_{it}$$

con $i = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$, donde i se refiere al individuo o a la unidad de estudio (corte transversal), t a la dimensión en el tiempo, α es un vector de intercepto de n parámetros, β es un vector de K parámetros y X_{it} es la i -ésima observación al momento t para las K variables explicativas. En este caso, la muestra total de las observaciones en el modelo vendría dado por $N \times T$.

Wooldridge (2003) comenta que los conjuntos de datos de panel son muy útiles para el análisis de políticas, en particular para la evaluación de programas. Con los datos de panel, se cuenta con una ventaja potencialmente importante: es posible diferenciar en el tiempo para las mismas unidades de corte transversal, al permitir controlar los efectos específicos de la persona, empresa o ciudad.

La metodología de datos panel consta de tres modelos: modelo de datos agrupados, modelo de efectos fijos: que permite tener en cuenta las variables omitidas cuando las variables varían entre las distintas entidades individuales, pero no cambian en el tiempo y, modelo de efectos aleatorios: el cual considera que el efecto inobservable no se correlaciona con ninguna variable explicativa.

Datos

Para este estudio cuantitativo, es esencial considerar el contexto del mercado laboral. La ENOE permite analizar empleo, horas trabajadas y salarios, mientras que la ENIGH aporta información sociodemográfica. Ambas sirven como referencia para examinar el mercado laboral y fenómenos como la brecha salarial y la pobreza.

En este sentido, los datos utilizados en la presente investigación provienen de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), con la cual se calcula la brecha salarial con base en los ingresos *per cápita* a nivel nacional y datos de otros ingresos extras para hombres y mujeres. La información de empleabilidad como hombres y mujeres formalizados e informatizados se obtiene de la ENOE, de igual manera a nivel nacional. En el caso de la pobreza, los datos se obtienen de la base de la ENIGH y las remesas a través del Banco de México (BANXICO).

Las variables utilizadas para la estimación del modelo se describen en el Cuadro 1. La variable brecha salarial (BS), entendida como la diferencia en ingresos promedio entre grupos comparables puede ser medida en términos relativos (Oaxaca, 1973; Juhn *et al.*, 1993 y Fortin *et al.*, 2011). En el caso de las variables H_formal; H_informal; M_formal y M_informal, así como las variables referentes al porcentaje de ingresos de hombres y mujeres (Otros_H y Otros_M). Diversos estudios como el de Bertrand *et al.*, (2010); Olivetti y Petrongolo (2016) y Blau y Kahn (2012) convergen sobre el efecto del rol de género en el tipo de empleo y los salarios percibidos por las personas asociados a la informalidad laboral, que implica salarios bajos y menor protección social (Taheri *et al.*, 2024 y La Porta y Shleifer, 2014). En el caso de las regiones empleadas para la estimación econométrica, las 32 entidades del país se dividieron en ocho regiones,⁴ a saber: Noroeste, Noreste, Occidente, Oriente, Centro Norte, Centro Sur, Suroeste y Sureste.

Cuadro 1
Variables de estudio

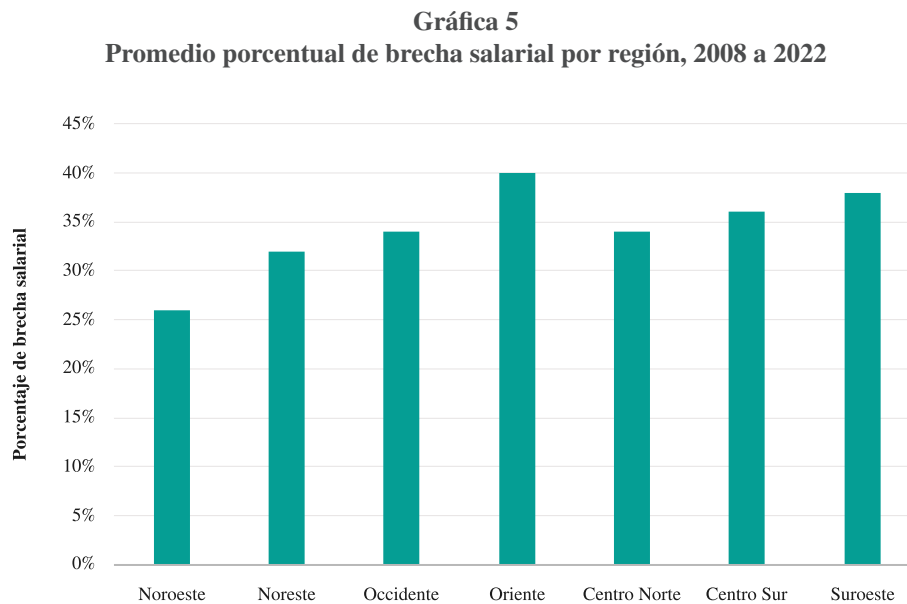
<i>Variable</i>	<i>Clave</i>	<i>Concepto</i>	<i>Tipo</i>
Dependiente	Pobreza	Es el índice de personas que se encuentran en situación de pobreza.	Numérica
Independiente	BS	Brecha salarial. Es la tasa del diferencial entre los ingresos de hombres y mujeres.	Numérica
Independiente	h_formal	Porcentaje de hombres en situación de empleabilidad formalizada con respecto a la PEA total.	Numérica

4. Región "Noroeste = Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Sonora "; "Noreste = Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas"; "Centro Norte = Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas"; "Centro Sur = Ciudad de México, México, Morelos"; "Occidente = Colima, Jalisco, Michoacán, Nayarit"; "Oriente = Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz"; "Suroeste = Chiapas, Guerrero, Oaxaca "; "Sureste = Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Yucatán".

<i>Variable</i>	<i>Clave</i>	<i>Concepto</i>	<i>Tipo</i>
Independiente	h_informal	Porcentaje de hombres en situación de empleabilidad informalizada con respecto a la PEA total.	Numérica
Independiente	m_formal	Porcentaje de mujeres en situación de empleabilidad formalizada con respecto a la PEA total.	Numérica
Independiente	m_informal	Porcentaje de mujeres en situación de empleabilidad informalizada con respecto a la PEA total.	Numérica
Independiente	otros_M	Porcentaje de ingresos económicos con respecto de los ingresos totales que las mujeres perciben por concepto no laboral.	Numérica
Independiente	otros_H	Porcentaje de ingresos económicos con respecto de los ingresos totales que los hombres perciben por concepto no laboral.	Numérica
Independiente	remesas	Ingresos económicos que el hogar percibe provenientes del extranjero con respecto de ingreso total.	Numérica
Tiempo	años	Años de estudio: 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022.	Tiempo
Región	RE	Las regiones económicas establecidas por su geografía y economía, 8 en total: Noroeste, Noreste, Centro Norte, Centro Sur, Occidente, Oriente, Suroeste y Sureste.	Carácter

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

Por otra parte, en la Gráfica 5 se presenta el promedio a lo largo de los años de la brecha salarial por región, la cual se muestra en términos relativos. Se observa que la región Oriente tiene mayor desigualdad, lo cual apoya lo comentado líneas arriba, en el sentido de existir heterogeneidad en la desigualdad en las distintas regiones del país.



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2023).

El modelo a estimar es el siguiente:

$$Pobreza = \alpha + BS\beta_1 + h_{informal}\beta_2 + h_{formal}\beta_3 + m_{informal}\beta_4 + m_{formal}\beta_5 + otros_m\beta_6 + otros_h\beta_7 + remesas\beta_8 + u_{it} \quad (1)$$

Las ecuaciones 2 y 3 muestran el modelo principal (ecuación 1) dividido en dos formas: uno dedicado a la informalidad (ecuación 2) y el otro a la formalidad (ecuación 3).

$$Modelo 1: pobreza = \alpha + BS\beta_1 + h_{informal}\beta_2 + m_{informal}\beta_3 + otros_m\beta_4 + otros_h\beta_5 + remesas\beta_6 + u_{it} \quad (2)$$

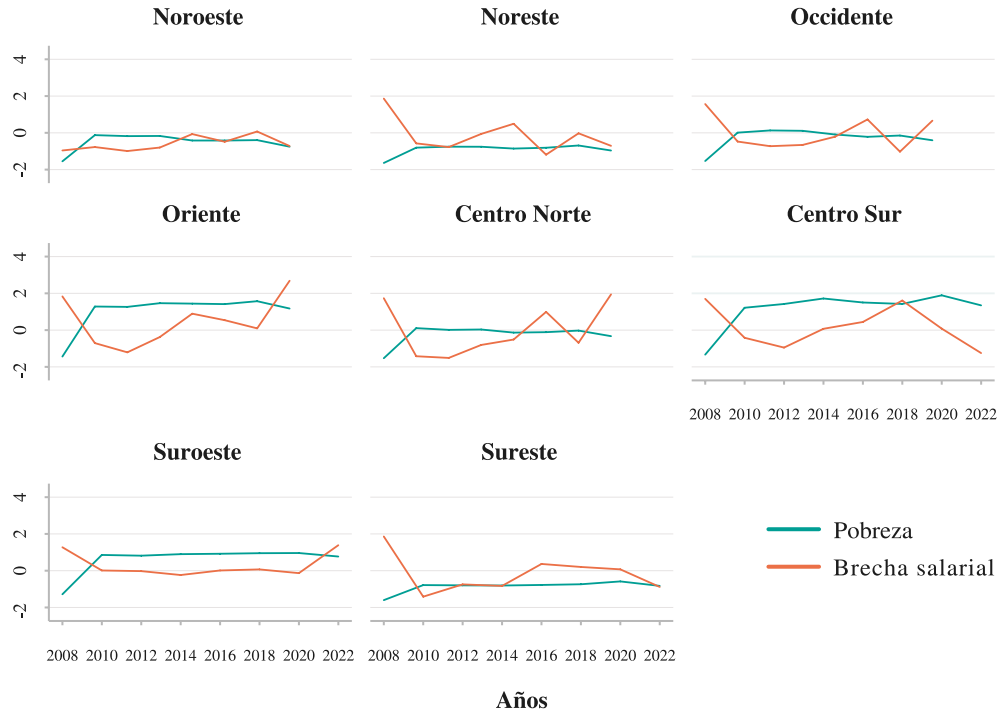
$$Modelo 2: pobreza = \alpha + BS\beta_1 + h_{formal}\beta_2 + m_{formal}\beta_3 + otros_m\beta_4 + otros_h\beta_5 + remesas\beta_6 + u_{it} \quad (3)$$

La variable dependiente es la pobreza y en ambos casos está presente la brecha salarial, las remesas, así como otros ingresos que perciben las familias.

IV. MODELO ECONOMETRICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Gráfica 6 muestra la evolución temporal (2008 a 2022) de la brecha salarial y pobreza para las diferentes regiones del país. Se observa la correlación positiva entre ambas variables. Cuando la brecha salarial es superior a su promedio, la pobreza también tiende a ser superior, especialmente en periodos de crisis económicas. Por ejemplo, en la región Occidente, en el año 2008 la brecha salarial estaba muy por encima de su promedio, mientras que la pobreza estaba ligeramente por debajo del suyo. Esto sugiere que, en la crisis de aquella época, la desigualdad salarial se disparó a niveles históricos, mientras la pobreza se mantenía relativamente controlada. Véase que para el año 2022 las regiones Centro Norte y Oriente muestran un aumento notable en la pobreza y, al mismo tiempo, una disminución o estabilización de la brecha salarial. Esto puede interpretarse como un deterioro de las condiciones de vida de la población, sin que la desigualdad salarial haya sido el principal motor del cambio, ya que puede deberse a otros factores como la inflación y la pérdida de empleo, elementos relacionados con la informalidad.

Gráfica 6
Pobreza y brecha salarial por regiones de México, 2008 a 2022



Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la estimación econométrica. Los resultados muestran que el modelo con efectos fijos (EF) es el más adecuado para analizar la relación entre la brecha salarial y la pobreza, dado las pruebas de Hausman ($p = 0.0041$) y Mundlak ($p = 0.00023$). Estos resultados indican que existen características estructurales no observadas, propias de cada región que influyen de manera significativa en la pobreza, por lo que el uso de un modelo de datos de panel con efectos fijos permite controlar adecuadamente dicha heterogeneidad.

Cuadro 2
Estimación del modelo de informalidad

Variable dependiente: pobreza

<i>Variable Independiente</i>	<i>Método MCO</i>	<i>Método EF</i>	<i>Método EA</i>
Brecha Salarial	-0.0128207 0.739	0.0570374 0.0117	0.0187866 0.697
h_informal	0.2894697 0.047	-0.018061 0.667	-0.2272522 0.021
m_informal	0.6286402 0.008	0.3283341 0.001	0.5863714 0.000
otros_m	0.674981 0.003	0.4622105 0.001	0.6635657 0.000

Variable dependiente: pobreza

<i>Variable Independiente</i>	<i>Método MCO</i>	<i>Método EF</i>	<i>Método EA</i>
otros_h	-0.5988436 0.001	-0.390141 0.004	-0.5870322 0.000
Remesas	0.0750987 0.038	0.0139318 0.713	0.0517252 0.296
F value		0.0000	
LM (p-value)	0.01222		
Hausman (p-value)	0.0041		
Mundlak Test	0.00023		
Observaciones	64	64	64

Fuente: elaboración propia.

En términos de los coeficientes estimados, la brecha salarial presenta un efecto positivo y estadísticamente significativo ($\beta=0.0570$; $p=0.0117$), lo cual sugiere que un incremento en la desigualdad de ingresos contribuye al aumento de la pobreza. Este hallazgo coincide con lo planteado por Atkinson (2015) y Ravallion y Chen (2011), quienes argumentan que la desigualdad en los ingresos limita la movilidad social e impide la reducción sostenida de la pobreza. En este sentido, la brecha salarial opera como un mecanismo estructural que concentra el ingreso en determinados grupos, restringiendo el acceso de los hogares más vulnerables a recursos básicos y oportunidades económicas.

Asimismo, la informalidad laboral femenina (*m_informal*) muestra un efecto positivo y significativo ($\beta = 0.3283$; $p = 0.001$), confirmando que la inserción de las mujeres en empleos precarios o sin acceso a seguridad social agrava las condiciones de pobreza. Este resultado es consistente con lo señalado por Kalleberg (2011) y Contreras y Rodríguez (2021), al sostener que las condiciones de informalidad y desigualdad de género en el mercado laboral refuerzan las brechas socioeconómicas. De igual modo, la variable *otros_m*, que agrupa los ingresos económicos de las mujeres por concepto no laboral o fuera del empleo formal, también tiene un efecto positivo y significativo ($\beta = 0.4622$; $p = 0.001$), lo cual refuerza la relación entre la exclusión laboral femenina y la vulnerabilidad económica de los hogares.

En contraste, la variable *otros_h* presenta un coeficiente negativo y significativo ($\beta = -0.3901$; $p = 0.004$), lo que indica que los hombres con ocupaciones alternativas o con mayor estabilidad laboral tienden a reducir los niveles de pobreza. Este resultado sugiere una diferencia estructural en la inserción laboral entre hombres y mujeres, donde los hombres poseen mayores oportunidades de acceso a ingresos estables o diversificados.

Por su parte, las remesas no resultaron estadísticamente significativas ($p = 0.713$), lo que podría interpretarse como una evidencia de su limitada capacidad para reducir la pobreza de manera estructural, dado que su uso puede destinarse más al consumo inmediato que a la inversión productiva, como señalan los estudios del World Bank (2020) y la OECD (2019).

En conjunto, los resultados confirman que la brecha salarial y la informalidad laboral, particularmente la femenina, son determinantes estructurales de la pobreza. Ello implica que las políticas orientadas a reducir la desigualdad en los ingresos deben acompañarse de estrategias de formalización laboral y de igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, en consonancia con lo planteado por Goldin (2021) y Trujillo (2022).

Los resultados obtenidos de la estimación del modelo de informalidad (Cuadro 2) muestran que el modelo con efectos fijos (EF) es el más adecuado para analizar la relación entre la informalidad laboral y la pobreza. Las pruebas estadísticas, Hausman ($p = 0.0041$) y Mundlak ($p = 0.00023$), indican que las características no observadas (por ejemplo, condiciones estructurales regionales o sectoriales) están correlacionadas con las variables explicativas, lo que justifica el uso de efectos fijos. Asimismo, la prueba LM ($p = 0.01222$) rechaza la hipótesis de homogeneidad, descartando el modelo MCO como opción válida. Por tanto, el modelo EF proporciona las estimaciones más consistentes.

En el modelo de efectos fijos, la informalidad laboral femenina ($m_informal$) es una de las variables con mayor impacto sobre la pobreza ($\beta = 0.3283$; $p = 0.001$). Este resultado confirma que el trabajo informal de las mujeres está estrechamente vinculado con mayores niveles de vulnerabilidad económica, dado que las mujeres suelen ocupar puestos con baja remuneración, sin seguridad social y con menores posibilidades de movilidad laboral. Estos hallazgos son coherentes con los de Kalleberg (2011), quien argumenta que los sistemas laborales segmentados reproducen desigualdades estructurales, y con Contreras y Rodríguez (2021), quienes señalan que la informalidad femenina profundiza la pobreza de los hogares en América Latina.

La variable $h_informal$ (informalidad masculina) no resulta significativa ($p = 0.667$) en el modelo EF, lo que sugiere que la informalidad entre hombres no tiene un efecto estadísticamente claro sobre la pobreza, posiblemente debido a que parte de ellos encuentra alternativas de ingresos complementarios o estabilidad relativa en actividades informales de mayor productividad. En cambio, en el modelo de efectos aleatorios (EA), el coeficiente se torna negativo y significativo ($\beta = -0.2272$; $p = 0.021$), lo que podría reflejar diferencias no capturadas por el modelo respecto a regiones o sectores donde la informalidad masculina tiene características distintas.

Por su parte, las variables $otros_m$ y $otros_h$, que agrupan a ingresos de mujeres y hombres fuera del empleo formal o con ocupaciones atípicas, presentan comportamientos opuestos. En el caso de $otros_m$, el efecto es positivo y significativo ($\beta = 0.4622$; $p = 0.001$), lo que indica que la participación limitada o precaria de las mujeres en el mercado laboral formal incrementa la pobreza, reforzando la hipótesis de la feminización de la pobreza. En contraste, $otros_h$ muestra un efecto negativo y significativo ($\beta = -0.3901$; $p = 0.004$), sugiriendo que los hombres con actividades no formales pueden, en algunos casos, mantener ingresos suficientes para reducir la pobreza, posiblemente debido a su inserción en sectores de mayor productividad o a redes de empleo más estables.

En cuanto a la brecha salarial, esta mantiene un coeficiente positivo y significativo ($\beta = 0.0570$; $p = 0.0117$), lo cual implica que la desigualdad en los ingresos laborales amplifica los efectos de la informalidad sobre la pobreza. Este hallazgo es consistente con los argumentos de Atkinson (2015) y Ravallion y Chen (2011), quienes señalan que las diferencias salariales estructurales impiden que el crecimiento económico se traduzca en reducción de la pobreza.

Finalmente, las remesas no presentan un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.713$), lo que sugiere que, aunque pueden representar un ingreso adicional para ciertos hogares, su impacto sobre la pobreza estructural es limitado, tal vez por ser un ingreso destinado al consumo de corto plazo (World Bank, 2020 y OECD, 2019).

En conjunto, los resultados del modelo de efectos fijos indican que la informalidad laboral femenina, la brecha salarial y la exclusión del empleo formal son los principales determinantes de la pobreza. Estos hallazgos sugieren que las políticas públicas orientadas a la formalización laboral y a la equidad de género son fundamentales para mitigar la pobreza estructural. Tal como sostienen Goldin (2021) y Trujillo (2022), reducir la desigualdad laboral requiere estrategias que promuevan entornos laborales equitativos, con condiciones seguras y políticas salariales justas.

Cuadro 3
Estimación del modelo con sector formal

Variable dependiente: pobreza

<i>Variable Independiente</i>	<i>Método MCO</i>	<i>Método EF</i>	<i>Método EA</i>
Brecha Salarial (BS)	0.0053566 0.092	0.0683267 0.094	0.0455121 0.309
h_formal	0.0756008 0.132	-0.046687 0.277	-0.0528202 0.0269
m_formal	-0.8766779 0	-0.0367772 0.79	-0.4160547 0.0000
otros_m	0.4342088 0.081	0.3169901 0.024	0.3790604 0.0120
otros_h	-0.3315984 0.152	-0.2264362 0.099	-0.2827435 0.060
Remesas	-0.0229995 0.552	-0.0245232 0.544	-0.0269489 0.055
Constante	0 1	0 1	0 1
F (p-value)	0.0000		
LM (p-value)	0.0032		
Hausman (p-value)	0.5625		
Mundlak Test	0.06899		
Observaciones	64	64	64

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, para el mercado formal, los resultados se muestran en el Cuadro 3. La variable m_formal (empleo formal femenino) muestra un efecto negativo y altamente significativo sobre la pobreza ($\beta = -0.4160$; $p = 0.0000$). Esto significa que a medida que aumenta la proporción de mujeres empleadas en el sector formal, la pobreza disminuye de forma considerable. El hallazgo sugiere que la inserción de las mujeres en empleos formales, que suelen ofrecer seguridad social, estabilidad y mejores salarios, tiene un impacto directo en la reducción de la pobreza. Este resultado coincide con los estudios de Goldin (2021) y Psacharopoulos y Tzannatos (1992), quienes sostienen que la participación femenina en trabajos formales no solo incrementa el ingreso familiar, sino que también fortalece la autonomía económica y el bienestar de los hogares.

Por el contrario, la variable h_formal (empleo formal masculino) presenta un coeficiente negativo ($\beta = -0.0528$; $p = 0.0269$), aunque de menor magnitud. Esto implica que la formalización del empleo masculino también contribuye a la reducción de la pobreza, pero su efecto es más moderado. Esto podría explicarse porque, en muchos contextos, los hombres ya concentran una proporción mayor del empleo formal, por lo que aumentos marginales en su participación tienen un impacto decreciente. Este patrón es consistente con los hallazgos de Fields (2019), quien muestra que los retornos sociales del empleo formal tienden a ser mayores cuando se expanden hacia grupos históricamente marginados.

La brecha salarial (BS) presenta un coeficiente positivo, aunque no significativo ($\beta = 0.0455$; $p = 0.309$). Esto implica que la desigualdad en los ingresos laborales no tiene un efecto estadísticamente claro sobre la pobreza en este modelo, posiblemente porque la formalidad laboral atenúa parte del impacto negativo de la disparidad salarial. No obstante, la dirección positiva del coeficiente sugiere que, en ausencia de políticas de equidad salarial, las brechas persistentes pueden seguir contribuyendo a la desigualdad estructural.

Las remesas muestran un efecto negativo y marginalmente significativo ($\beta = -0.0269$; $p = 0.055$), lo que sugiere que el ingreso proveniente del exterior contribuye ligeramente a reducir la pobreza, aunque su impacto sigue siendo modesto, ya que el mayor impacto para reducir la pobreza se percibe por las mejores condiciones laborales de aquellos con empleos formales. Este resultado coincide con el análisis de World Bank (2020) y la OECD (2019), que destacan que las remesas pueden aliviar la pobreza temporalmente, pero no sustituyen la creación de empleos formales y sostenibles.

CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo fue analizar el impacto de la brecha salarial de género en las condiciones de pobreza en México desde una perspectiva regional, con el fin de formular recomendaciones de política pública que promuevan un mercado laboral equitativo, reduzcan la brecha salarial y disminuyan los niveles de pobreza. Los resultados evidencian que la informalidad laboral, especialmente la femenina, actúa como un factor estructural que perpetúa la pobreza y profundiza las desigualdades sociales. La persistencia de la brecha de género y la limitada inserción de las mujeres en empleos formales bien remunerados restringen su autonomía económica y amplifican la desigualdad de ingresos. En consecuencia, reducir la pobreza exige políticas integrales que enfrenten de manera simultánea la informalidad, la discriminación laboral y la desigualdad salarial. De igual manera, los resultados sugieren que la participación femenina en el sector formal es uno de los elementos más determinantes para disminuir la pobreza, pues la formalización del empleo, tanto de hombres como de mujeres, fortalece los ingresos y la estabilidad económica de los hogares. La formalización laboral no solo mejora los niveles de ingreso, sino que también incrementa la productividad y la cohesión social. Por ello, fortalecer el empleo formal y promover la equidad de género son condiciones esenciales para avanzar hacia un modelo de desarrollo más inclusivo, sustentado en la equidad, la protección social y el bienestar colectivo.

Con lo anterior, se busca reforzar la idea de realizar investigaciones que ayuden a encontrar variables de estudio, herramientas de política laboral y política social que ayuden a disminuir la disparidad que hay en los salarios. Atender las causas no solo implica establecer un apoyo social o dar apoyos económicos, sino también el trabajo continuo y formal de la política pública verdaderamente focalizada y regionalizadas; es decir, se entiende que el problema es de todo México, pero no todas las regiones presentan la misma magnitud del problema. Una política pública, económica, social, laboral y regional, ayudaría a resarcir muchos problemas y no sólo de pobreza sino de varios rubros de la variable.

REFERENCIAS

- Angulo, M. F. (2021). *Análisis estadístico de la brecha de género en Castilla y León* (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50605>
- Atkinson, A. B. (2015). *Inequality: What can be done?*. Harvard University Press.
- Bertrand, M., Goldin, C. y Katz, L. F. (2010). Dynamics of the gender gap for young professionals in the 20th century. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2(3), 228–255. <https://doi.org/10.1257/app.2.3.228>
- Bertrand, M. y Mullainathan, S. (2004). Are Emily and Greg more employable than Lakisha and Jamal? A field experiment on labor market discrimination. *American Economic Review*, 94(4), 991–1013. <https://doi.org/10.1257/0002828042002561>
- Blau, F. D. y Kahn, L. M. (2013). Female labor supply: Why is the United States falling behind? *American Economic Review*, 103(3), 251–256. <https://doi.org/10.1257/aer.103.3.251>
- Blau, F. D. y Kahn, L. M. (2017). The gender wage gap: Extent, trends, and explanations. *Journal of Economic Literature*, 55(3), 789–865. <https://doi.org/10.1257/jel.20160995>
- Bucaram Leverone, R., Quinde Rosales, V., Quinde Rosales, F. y Vera Pianda, P. (2023). Discriminación de género en el mercado laboral: Una mirada desde los egresados de la Universidad Agraria-Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 29(7), 101–112. <https://doi.org/10.31876/rsc.v29i.40450>
- CONEVAL. (2024). *Medición de la pobreza. Pobreza en México*. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>
- Contreras, E. A. y Rodríguez, G. J. (2021). *La brecha salarial* (Trabajo de fin de grado). Departamento de Economía Aplicada y Métodos Cuantitativos, Universidad de la Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24817>
- Doeringer, P. B. y Piore, M. J. (1971). *Internal labor markets and manpower analysis*. Heath.
- Fields, G. S. (2019). *Employment and development: How work can lead from and into poverty*. Oxford University Press.
- Fortin, N., Lemieux, T. y Firpo, S. (2011). Decomposition methods in economics. In O. Ashenfelter & D. Card (Eds.), *Handbook of labor economics* (Vol. 4, pp. 1–102). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(11\)00407-2](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(11)00407-2)
- Goldin, C. (2021). *Career and family: Women's century-long journey toward equity*. Princeton University Press.
- Hegewisch, A. (2016, 7 de marzo). *The gender wage gap: 2015 earnings differences by race and ethnicity*. Institute for Women's Policy Research. <https://iwpr.org/the-gender-wage-gap-2015-earnings-differences-by-race-and-ethnicity>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022*. Nueva serie. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), población de 15 años y más de edad*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/>
- International Labour Organization. (2018). *Global Wage Report 2018/19: What lies behind gender pay gaps*. <https://www.ilo.org/publications/global-wage-report-201819-what-lies-behind-gender-pay-gaps>
- Instituto Mexicano para la Competitividad. (2022, septiembre 6). *La violencia de género limita la participación de las mexicanas en el mercado laboral*. <https://imco.org.mx/la-violencia-de-genero-limita-la-participacion-de-las-mexicanas-en-el-mercado-laboral/>

- Jabbaz, M., Samper-Gras, T. y Díaz, C. (2019). La brecha salarial de género en las instituciones científicas. Estudio de caso. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, (80), 1–27. <https://doi.org/10.29101/crcs.v26i80.11248>
- Juhn, C., Murphy, K. M. y Pierce, B. (1993). Wage inequality and the rise in returns to skill. *Journal of Political Economy*, 101(3), 410–442. <https://doi.org/10.1086/261881>
- Kalleberg, A. L. (2011). *Good jobs, bad jobs: The rise of polarized and precarious employment*. Russell Sage Foundation.
- La Porta, R. y Shleifer, A. (2014). Informality and development. *Journal of Economic Perspectives*, 28(3), 109–126. <https://doi.org/10.1257/jep.28.3.109>
- Mendoza-González, M. Á., Cruz-Calderón, S. F. y Valdivia-López, M. (2020). Niveles y subniveles de precariedad extrema en México: una metodología de grupos con condiciones laborales ordenadas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(2), 405–448. <https://doi.org/10.24201/edu.v35i2.1784>
- Oaxaca, R. (1973). Male-female wage differentials in urban labor markets. *International Economic Review*, 14(3), 693–709. <https://doi.org/10.2307/2525981>
- OCDE. (2019). *Estrategia de Competencias de la OCDE 2019: Competencias para construir un futuro mejor*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e3527cfb-es>
- Olivetti, C. y Petrongolo, B. (2016). The evolution of gender gaps in industrialized countries. *Annual Review of Economics*, 8(1), 405–434. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080614-115329>
- ONU Mujeres. (2023). *Conoce más sobre brecha salarial: causas, cifras y por qué hay que combatirla*. <https://lac.unwomen.org/es/que-hacemos/empoderamiento-economico/epic/que-es-la-brecha-salarial>
- Padavic, I. y Reskin, B. (2002). *Women and men at work*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781452233857>
- Psacharopoulos, G. y Tzannatos, Z. (1992). *Women's employment and pay in Latin America: Overview and methodology* (World Bank Regional and Sectoral Studies). World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/758521468773090396/pdf/multi-page.pdf>
- Puma, J. y Redobrán, W. (2023). Comunidades indígenas y su combate diario ante la discriminación en el Ecuador. *Digital Publisher CEIT*, 8(2-1), 469–482. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.2-1.1736>
- Ravallion, M. y Chen, S. (2011). The developing world is poorer than we thought, but no less successful in the fight against poverty. *The World Bank Research Observer*, 26(2), 147–168. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkr003>
- Stock, J. H. y Watson, M. W. (2012). *Introducción a la econometría* (3ª ed.). Pearson.
- Taheri, E., Katircioğlu, S. y Tecel, A. (2024). Gender differences in the impact of the informal economy on the labor market: Evidence from Middle Eastern countries. *Evaluation Review*, 48(5), 865–892. <https://doi.org/10.1177/0193841X231210597>
- Trujillo Torres, L. (2023). *Análisis de los efectos de la pandemia del COVID-19 en la brecha salarial de género en el mercado laboral de Neiva* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/55030/ltrujillot.pdf>
- World Bank. (2020). *World Development Report 2020: Trading for development in the age of global value chains*. World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1457-0>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press.

Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs in states and municipalities in Mexico

Comprensión Localizada de Necesidades Energéticas Multidimensionales en estados y municipios de México

Mario Alberto García Meza*, Julieta Evangelina Sánchez Cano**
& Humberto Ríos Bolívar***

| *Universidad Juárez del Estado de Durango | Correo electrónico: mario.agm@ujed.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7292-7110> |

| **Universidad Juárez del Estado de Durango | Correo electrónico: julieta.san2009@ujed.mx. |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1735-0483> |

| ***Instituto Politécnico Nacional | Correo electrónico: hrios@ipn.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7872-7037> |

ABSTRACT

We introduce LUMEN (Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs), a novel index for measuring energy poverty with a municipality-level indicator in Mexico. Energy poverty restricts access to essential services, yet traditional metrics overlook local disparities. Building on the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI), LUMEN integrates Principal Component Analysis (PCA) to refine indicator selection and weighting, leveraging census and ENIGH data from INEGI for a robust analysis. By pinpointing areas of acute deprivation, LUMEN provides a data-driven tool for policymakers to prioritize interventions, allocate resources efficiently, and design equitable energy policies that improve livelihoods.

RESUMEN

Presentamos LUMEN: Comprensión Localizada de las Necesidades Energéticas Multidimensionales (*Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs*, por sus siglas en inglés), un nuevo índice para medir la pobreza energética a nivel municipal en México. La pobreza energética limita el acceso a servicios esenciales, pero los indicadores tradicionales no capturan las disparidades locales. Basado en el Índice de Pobreza Energética Multidimensional (MEPI, por sus siglas en inglés), LUMEN incorpora Análisis de Componentes Principales (PCA) para refinar la selección y ponderación de indicadores, utilizando datos del censo y la ENIGH de INEGI para un análisis granular y robusto. Al identificar zonas de mayor vulnerabilidad, LUMEN ofrece una herramienta clave para que los responsables de políticas prioricen intervenciones, asignen recursos eficientemente y diseñen políticas energéticas equitativas que mejoren el bienestar.

Received: June/02/2025
Accepted: November/19/2025
Posted: May/18/2026

Keywords:

| Energy poverty |
| Mexico | ENIGH |
| Energy deprivation |
| Poverty indicators |

Palabras clave:

| Pobreza energética |
| México | ENIGH |
| Privación de energía |
| Indicadores de pobreza |

JEL Classification | Clasificación JEL |

I32, Q41, O13, C38

INTRODUCTION

Energy poverty, defined as the lack of access to modern energy services (such as electricity and clean cooking facilities), remains a significant global challenge. In 2022, approximately 759 million people lacked reliable electricity, while 2.6 billion relied on inefficient and hazardous cooking systems (United Nations, 2023). These deficiencies constrain economic development, exacerbate public



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

health crises, environmental degradation, and social inequality (Healy & Clinch, 2004). Although significant progress has been made, energy poverty remains unevenly distributed, disproportionately affecting rural and low-income communities, limiting educational and economic opportunities, and perpetuating intergenerational poverty traps.

Mexico faces these challenges despite significant progress in electrification. While national-level metrics suggest high energy access, such aggregated indicators obscure regional disparities, particularly in rural and indigenous areas where energy poverty persists (cf. Soriano-Hernández, *et al.*, 2022). The country's diverse geography, economic inequalities, and infrastructure constraints create substantial variations in energy availability, affordability, and quality. Yet current policy frameworks lack a municipality-level indicator to measure and address these disparities effectively. Without localized and multidimensional data, energy poverty interventions risk being misdirected, failing to account for region-specific needs and policy impacts.

To bridge this gap, we introduce the Localized Understanding of Multidimensional Energy Needs (LUMEN). Lumen is an index designed to measure energy poverty at a municipal level in Mexico which draws from INEGI's census and a national survey on household income and expenditures (ENIGH). Unlike other traditional measures, Lumen integrates multiple dimensions to offer a comprehensive framework. Such dimensions are availability, accessibility, affordability, and consumption. Additionally, we reduce subjectivity by selecting weights in the indicators using principal component analysis (PCA).

Our main objective in this paper is to provide a tool for the identification of specific areas of acute energy deprivation. We hypothesize that LUMEN, through its multidimensional and localized approach, provides a more effective measurement of regional disparities and a more accurate identification of areas with acute energy deprivation than current aggregated metrics. This allows policymakers to efficiently allocate scarce resources in interventions and design evidence-based energy policies tailored to the local reality. More importantly, the design of targeted region-specific solutions helps avoid “one-size-fits-all” approaches, which might sound good on paper, but have little to nonreal impact in the communities it's supposed to help.

Even though Mexico has made significant progress in the expansion of electricity access throughout the country, energy poverty remains a relevant challenge. Particularly in rural areas and remote towns. Mexico's geography and deep socioeconomic inequalities make it complex to provide access to safe and non-hazardous sources of energy evenly, since each region has its own level of energy access and affordability (García-Ochoa, *et al.*, 2022). Thus, energy poverty remains a complex issue that requires a balance between energy security, economic affordability, and environmental sustainability (cf. Khan, *et al.*, 2023). We wish to ensure accessible and affordable energy without exacerbating environmental degradation that may compromise energy security in the long run (Gunningham, 2013).

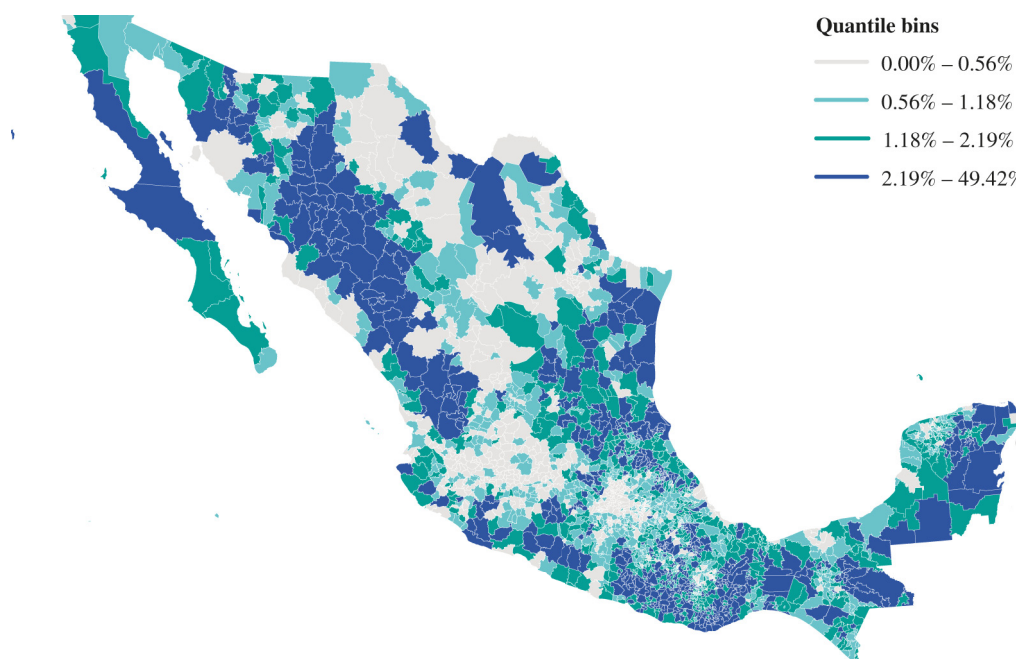
In a country as large and diverse as Mexico, more than a one-size-fits-all approach is required to address the nuanced realities of energy poverty across different municipalities. For instance, García, *et al.* (2023) report a case of the Guanacevi municipality, which reports a higher than average energy poverty, but in which local authorities decide to use the federal funds to provide citizens with solar boilers, which solves the problem of heating water in the households, but do not affect any of the indicators of multidimensional poverty provided by CONEVAL (2019).

While this action does not directly affect the multidimensional poverty metrics, it does alleviate the need to use gas in the municipality with the lowest temperature registered in the country. If a separate energy poverty indicator can show this alleviation, then local governments would have more margin to find suitable solutions to solve poverty locally, and incentives to create solutions that are fit for their communities.

One of our main insights is that municipalities in remote areas face challenges that might need to be accurately captured in poverty measurements. Figure 1 shows a map of the percentage of the population without access to electricity at a municipality level. Note that the municipalities where access to electricity is more restricted are those where access is more complex, like in mountain ranges, where infrastructure construction is difficult to access.

The nature of energy is complex and thus requires a multidimensional approach to measure. Traditional methods, which often focus solely on income or energy expenditure thresholds, fail to account for other critical dimensions, such as the quality of energy services, household energy efficiency, and the environmental impact of energy use.

Figure 1
Percentage of population without access to electricity by municipality in Mexico



Note: each degree of percentage is chosen by quantiles.

Source: self-made with 2020 census data from INEGI, using QGIS.

For instance, Figure 1 presents a municipality-level map of the percentage of population without access to electricity by municipality in Mexico. We can infer several things from this map. One is that the quartile with a higher percentage lives in the mountain range. The municipalities in the states of Chihuahua, Sinaloa and Durango with less access to electricity are the ones in Sierra Madre Occidental, where access to the grid is more difficult. But an important nuance this map does not show is how the solutions households come up with to access energy relates to its affordability.

In response to this gap, the index we propose aims to provide a more comprehensive understanding of energy poverty at the municipal level in Mexico. By incorporating availability, accessibility, affordability and consumption to the index, we offer a more accurate picture of energy deprivation in households which allow policymakers to create targeted solutions.

In the following section, we provide a literature review of the problem, then we show the data sources and methodology in section 2. In sections 3 and 4, we construct the LUMEN index and show the results of the analysis using PCA, which we discuss further in section 5. Last section concludes this paper.

I. LITERATURE REVIEW

Energy poverty is defined as the inability of a household to access adequate energy services that are essential for a decent standard of living. This includes heating, cooling, lighting and cooking (cf. Day, *et al.*, 2016; Nussbaumer, *et al.*, 2012). Note that this definition is not focused only on income or consumption, but encompasses factors that include energy accessibility, affordability and sustainability (Che, *et al.*, 2021; Isazade & Altan, 2023). For instance, consider a rural area without access to reliable electricity, that may have to use power generators which constitutes a less affordable and more pollutant option.

Climate change has revealed the urgency to assess and measure the state of accessibility to energy, given the United Nation's Sustainable Goal number 7, which calls for the access to affordable, reliable, sustainable and modern sources of energy "for all" (United Nations, 2023). Nevertheless, traditional poverty metrics, such as the multidimensional poverty index (MPI), do not always capture the nuances of energy deprivation. As a result, policymakers may have an incomplete understanding of the nature of the problem that leads to ineffective interventions (Culver, 2017; Streimikiene, *et al.*, 2021). We need a special measurement framework for energy poverty.

Defining and Measuring Energy Poverty

To properly measure energy poverty, we need to consider not only the lack of access to energy, but also affordability, reliability of access and the quality of the energy services (Isazade & Altan, 2023; Meyer *et al.*, 2018). Nussbaumer *et al.* (2012, 2013) have proposed the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI), which assesses energy deprivation across multiple dimensions: cooking, lighting, and appliance use. This approach provides a comprehensive view on how energy poverty affects households by considering the services that contribute to their well-being.

It should be evident by now that to properly measure energy poverty, it takes more than just the access to energy by the households, but they should be able to use it to perform functions they value (Sen, 1993). This entails the need to reflect local realities and subjective measurements, such as the ability to keep homes adequately warm or cool (Menyhert, 2023; Streimikiene, *et al.*, 2023). As Menyhert (2023) points out, different measures tend to identify different segments of the population.

To this day, there is no universally accepted definition of energy poverty (Culver, 2017; Isazade & Altan, 2023). The indicator of choice highly influences the households that we identify as energy-poor (Faiella & Lavecchia, 2021; Meyer, *et al.*, 2018). Moreover, a measure that is based on expenditure may not capture nuances, like a household that restrict its energy consumption due to affordability but that would otherwise use a different source, leading to an underestimation of energy poverty (Guzmán-Rosas, 2023).

But while nuances are important, data availability is one of the crucial aspects we must consider when creating a measurement, particularly in developing countries (Culver, 2017; Nico, 2020). We need detailed information on the dimensions we have early enumerated. This can make the creation of the measurement challenging, since the information may not be readily available or standardized (Che, *et al.*, 2021; Nussbaumer, *et al.*, 2012).

What we know so far about energy poverty in Mexico

Moving on to the Mexican context, energy poverty remains a pressing issue due to the country's socio-economic and geographic disparities. For instance, García-Ochoa and Graizbord (2016) found that 36.7% of Mexican households suffer from energy poverty, where “thermal comfort”, “efficient refrigeration” and “gas or electric stove” were the economic goods with higher deprivation levels.

Further, García-Ochoa *et al.* (2022) employed an access deprivation approach, focusing on the access of energy services, defined by Cravioto (2022) as “benefits for human well-being” produced using energy at home. This is a very wide definition that narrows down by focusing on lighting, information-entertainment, food, hygiene, and thermal comfort. As the authors point out, external factors such as climate, urbanization levels and inequality have a significant influence in how energy poverty is experienced in different regions throughout the country (García-Ochoa, *et al.*, 2022).

Therefore, we build upon the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI) to create LUMEN as a localized index, adapting to use available data from the Mexican census and the National Survey on Household Income and Expenditures (ENIGH), both from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI). Our adaptation ensures availability and reliability of the data, addressing the need for granular, municipality-level insights.

II. DATA SOURCES AND METHODOLOGY

LUMEN index is integrated by two primary datasets: the 2020 Population and Housing Census and ENIGH, from INEGI. The first one is the foundational dataset that captures indicators of availability and accessibility of energy services. It provides key variables, such as access to electricity, piped water, and essential household appliances. This allows us to identify disparities in access to energy at a municipal level. For instance, we take the proportion of households without electricity as part of the analysis, along with the ownership of refrigerators and microwaves.

To complement the information from the census, we use ENIGH datasets to include information on energy-related spending and to construct the affordability dimension of the index. This is created by computing the expenditure-to-income ratio as a proxy to weigh the economic burden due to energy costs. We recognize that this is an imperfect way to measure the burden energy cost entails in households, since energy consumption might be endogenous to its level of income. For instance, a family might decide to increase its level of consumption of energy by using air conditioning as soon as their income level rises. So, by observation of the energy expenditure to income ratio, these two households might seem identical, but they are very different in terms of energy poverty.

To ensure consistency and accuracy, we standardized data between datasets, extrapolating the ENIGH data for the municipality level. This is a necessary step, since ENIGH has statistical significance only at national and state level (INEGI, 2023).

To derive the weights for the index components we used Principal Component Analysis (PCA). This allows us to ensure that each dimension contributes proportionally, based on its statistical importance. This way, we minimize subjectivity in the weight assignment, for any given weight we assign might still be subjective, however backed from theory.

As a result, the LUMEN index provides a standardized score for each municipality, with a relative poverty status across the four dimensions we selected. A municipality with a higher score indicates more incidence of

energy poverty, while lower scores highlight more energy deprivation. In the next section we describe in depth the construction of the index.

III. CONSTRUCTING THE LUMEN INDEX

To construct the index, we account for four dimensions: availability, accessibility, affordability, and consumption. In this section, we explain the rationale for selecting them, what we expect to learn from the index by including them, and how they were integrated from the data.

Each indicator was carefully chosen based on its ability to capture a specific facet of energy poverty while being compatible with the available data from the 2020 Population and Housing Census and the National Survey on Household Income and Expenditure (ENIGH) of the same year. These indicators are representative of their respective dimensions and were normalized to ensure comparability.

To construct the LUMEN Index and ensure meaningful aggregation of diverse indicators, all data were normalized to a scale of zero to one. This standardization process harmonizes metrics that are inherently different in nature, such as the percentages of households affected by specific deficiencies and expenditure ratios, enabling their integration into a unified analytical framework.

Table 1 shows the dimensions of the LUMEN index: the availability dimension focuses on the foundational access to essential infrastructure. The inclusion of electricity access serves as a baseline measure of energy poverty, as it determines whether households can perform basic modern activities such as lighting, refrigeration, and communication. Similarly, access to piped water, while primarily a metric of water infrastructure, underscores the interdependence of energy and water services in regions where infrastructure deficits are pronounced.

Table 1
Dimensions of the LUMEN Index

<i>Dimension</i>	<i>Description</i>	<i>Indicators</i>
Availability	Measures the fundamental presence of energy services, focusing on access to essential infrastructure.	Percentage of households without access to electricity (census): Captures basic connectivity to the energy grid, essential for modern living. Percentage of households without access to piped water (census): Reflects related infrastructure gaps.
Accessibility	Assesses the ease with which households access energy-related goods and appliances necessary for daily life.	Percentage of households with a refrigerator (census): Proxies access to energy-powered appliances for food preservation. Percentage of households with a washing machine (census): Reflects access to energy-powered appliances for convenience and hygiene.
Affordability	Examines the economic strain households face in accessing energy services relative to their income.	Average energy expenditure-to-income ratio (ENIGH): Represents the proportion of household income allocated to energy costs, highlighting economic vulnerability. (Available only at state level due to data limitations.)
Consumption	Captures energy-dependent lifestyle aspects, emphasizing connectivity and technology access.	Percentage of households without a television (census): Proxies limited access to energy-driven entertainment and information. Percentage of households without a cellphone (census): Indicates technological deprivation and its impact on mobility and communication.

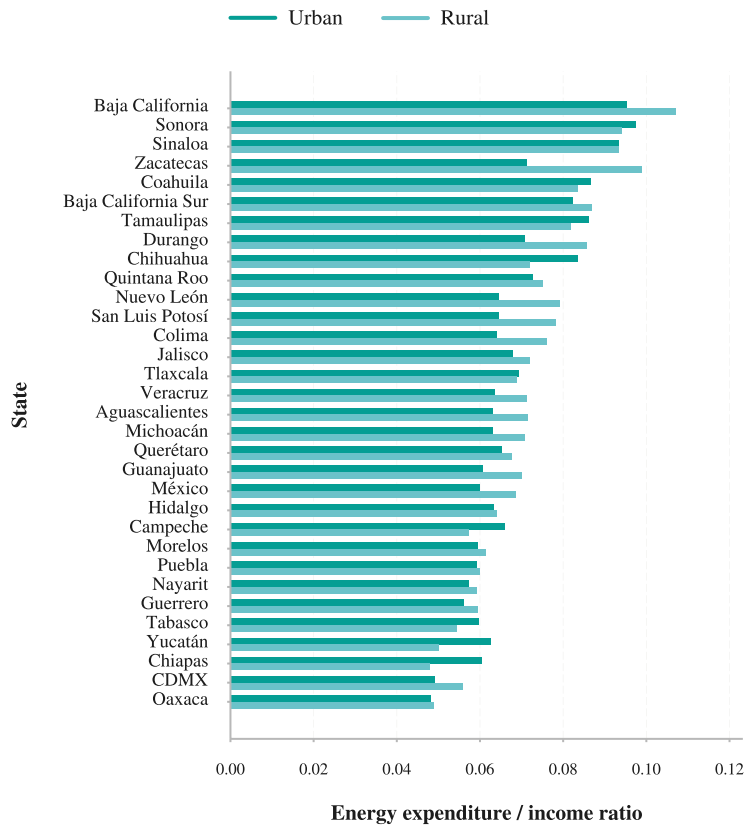
Source: self-made.

The accessibility dimension emphasizes the availability of energy-dependent household appliances that contribute to quality of life. The presence of refrigerators is critical not only for food preservation but also for ensuring food safety, linking energy access directly to health outcomes. Washing machines, on the other hand, highlight disparities in household convenience and access to labor-saving technologies, shedding light on broader social and economic inequalities.

The affordability dimension addresses the economic burden of energy services on households. The energy expenditure-to-income ratio is a pivotal indicator that reveals the financial strain of accessing energy. It provides insight into the trade-offs households must make when allocating limited resources, such as sacrificing other essential needs to pay for energy. Figure 2 shows the average energy expenditure to income ratio by state. We can notice that the states with a higher ratio seem to be those with higher variations in temperature.

Lastly, the consumption dimension extends the analysis beyond basic needs to consider the role of energy in enabling broader social and economic participation. Access to televisions and cellphones serve as proxies for connectivity, education, and communication, which are services provided by the energy, as recommended by Rizal *et al.* (2024) and the authors cited by them. These indicators illustrate the importance of energy in facilitating inclusion in modern economic and social systems, highlighting its role in fostering opportunities for education, employment, and social engagement.

Figure 2
Average energy expenditure to income ratio by state (split by rural and urban)



Source: National Survey on Household Income and Expenditure (ENIGH, 2020) using R.

The affordability dimension, which examines the economic strain households face in accessing energy services, presents unique challenges at the municipal level due to data limitations. The direct energy expenditure-to-income ratio, a pivotal indicator at the state level, is not available with sufficient granularity for municipal analysis (INEGI, 2023). Therefore, we adapted the state-level affordability data, incorporating average energy costs to compute the relative financial burden faced by the households. This measurement highlights the financial vulnerabilities specific to different local contexts and economic challenges of energy access across municipalities.

As a result, with this index we attempt to capture the multifaceted nature of energy poverty that identifies across dimensions.

Methodological Foundation: Principal Component Analysis (PCA)

We leverage on a Principal Component Analysis (PCA) approach to derive weights for each dimension. Since the weight of each component of the index does not have an objective value, this method ensures that subjective appreciation does not get in the way of creating a proper index. Though the advantage is a more objective measurement, the data from different years should yield slightly different results.

We start by calculating the covariance matrix of all normalized indicators. This reveals the interrelationship and variance among dimensions of energy poverty. Thus, we derive its eigenvalues and eigenvectors that represent the variance explained by each principal component and their relevant importance, respectively. The first principal component, which accounts for the largest proportion of variance, is used to assign weights to each dimension. The weights are proportional to the statistical significance of the dimension as captured by its eigenvalue.

The weight for a given dimension j is calculated using the formula:

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j}$$

where λ_j is the eigenvalue for dimension j , and k is the total number of dimensions.

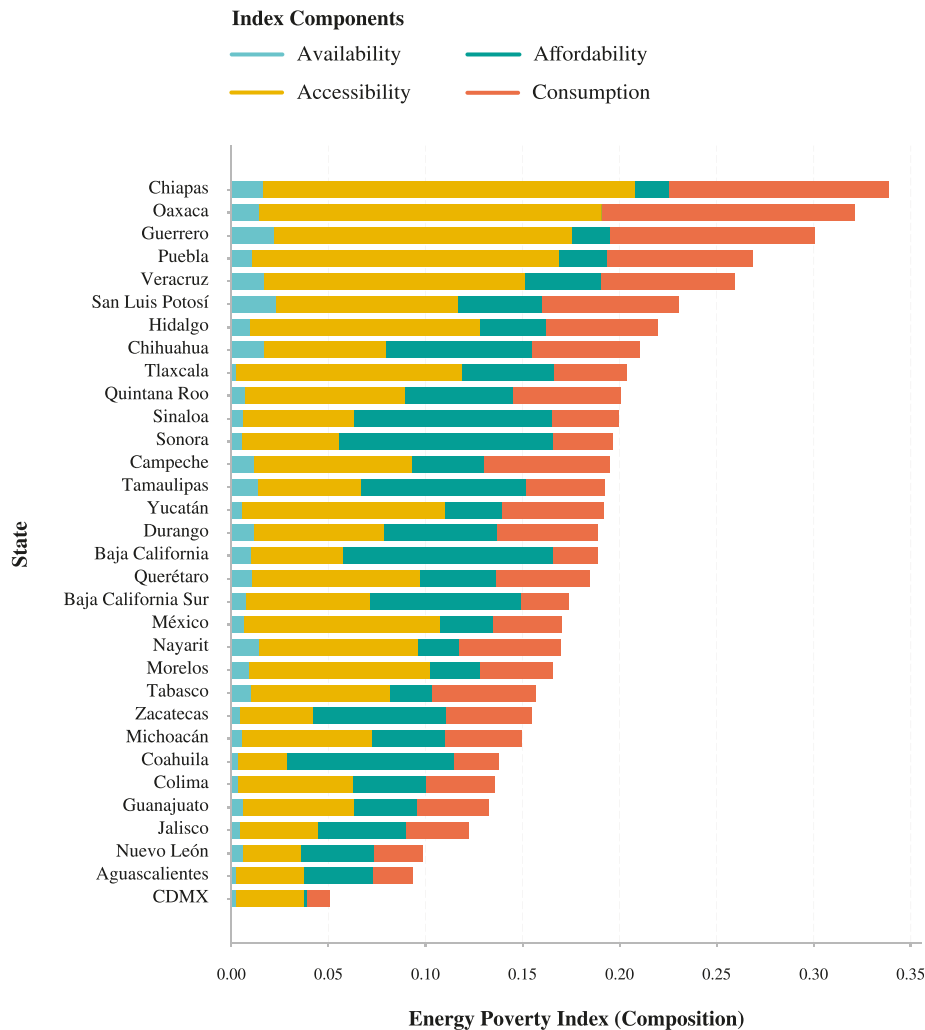
To compute the LUMEN Index score for each municipality i , the weighted sum of the normalized indicators is used, represented by the formula:

$$LUMEN_i = \sum_{j=1}^n (w_j \times Z_{ij})$$

Here, w_j represents the PCA-derived weight for indicator j , and Z_{ij} is the normalized value of indicator j for municipality i .

Figure 3 depicts that most of the weight assigned by the PCA algorithm was assigned to the accessibility of the energy, while availability took second place. The rest was distributed between affordability and consumption. We can observe that there is a significant variation in how the weights are distributed among states. For instance, note that the affordability dimension is more relevant in southern states such as Chiapas, Oaxaca or Guerrero, where energy costs amount to 20% or more of the household income.

Figure 3
Composition of the elements of the LUMEN index derived from PCA



Source: self-made with data from INEGI (Census & ENIGH), using R and Python.

This approach ensures that the LUMEN Index reflects the multidimensional nature of energy poverty while maintaining statistical rigor. By deriving weights directly from the data, PCA provides an unbiased framework that highlights the most significant contributors to energy deprivation in Mexico.

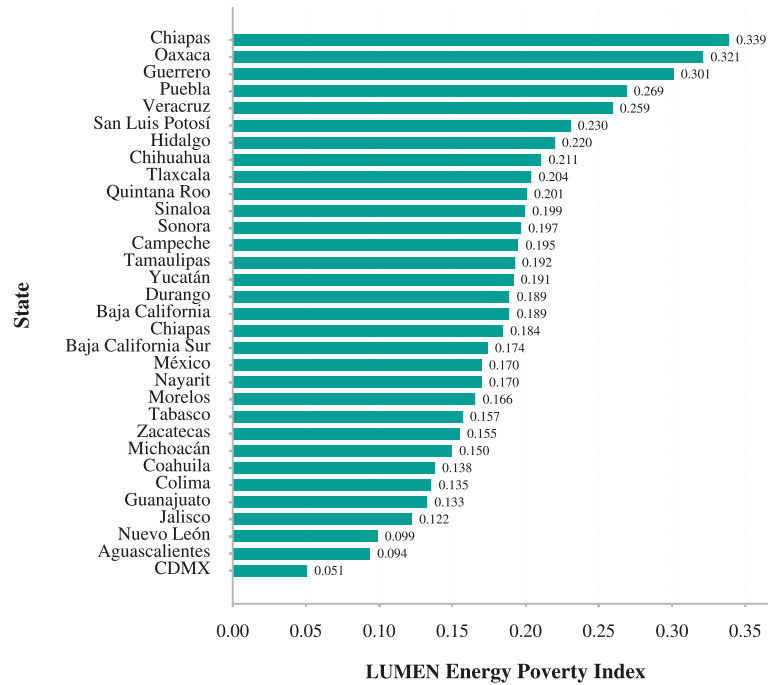
IV. RESULTS AND REGIONAL DISPARITIES

The results of the LUMEN Index reveal critical insights into the distribution of energy poverty in Mexico, emphasizing stark regional and municipal disparities.

Figure 4 shows the computed Lumen index by state. In Mexico, southern states such as Chiapas, Oaxaca, and Guerrero demonstrate pronounced affordability challenges, with households spending a disproportionately high percentage of their income on energy services. This aligns with studies indicating that regions with lower

income levels tend to experience higher energy burdens, exacerbating the economic vulnerability of affected households (Abdoulaye & Mokaddem, 2022).

Figure 4
Energy poverty index LUMEN by state



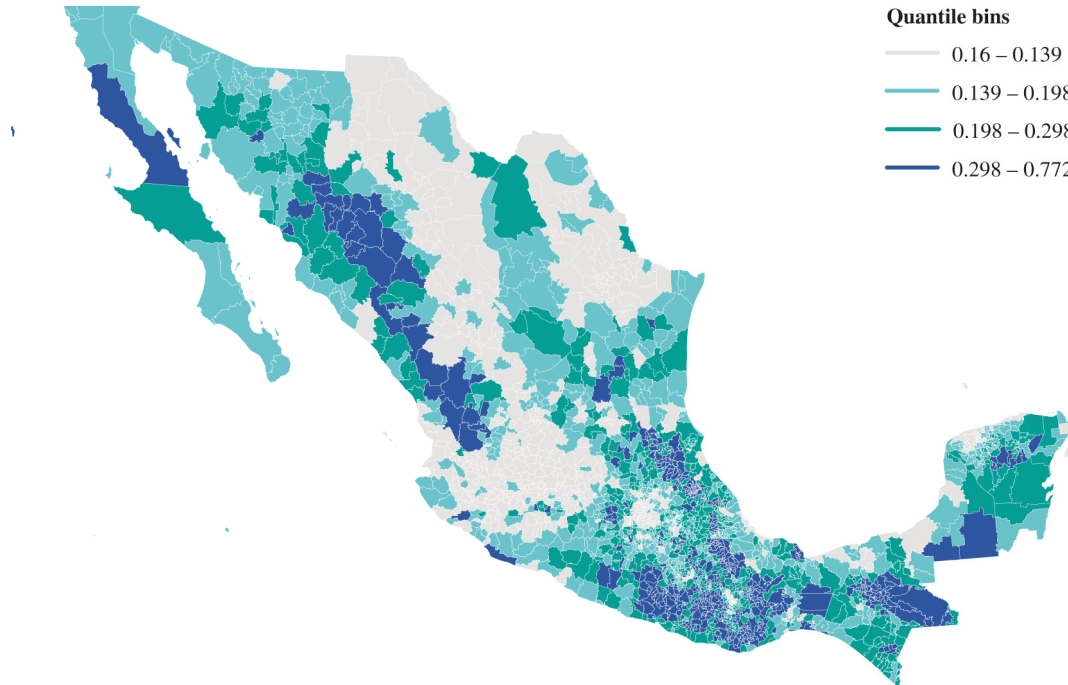
Source: self-made with data from INEGI (Census 2020 and ENIGH 2020), using R and Python.

Meanwhile, Figure 5 shows the computed index at a municipal level. Municipal-level results highlight granular disparities that further illuminate the challenges of energy poverty. In states like Chiapas, municipalities such as Ocosingo and Chilón exhibit acute energy deprivation. These findings resonate with similar patterns observed in rural and remote areas globally, where geographic isolation and limited infrastructure investment exacerbate energy poverty (Hong *et al.*, 2022). Accessibility and availability are particularly constrained in mountainous regions, such as the Sierra Madre Occidental, where infrastructure development faces significant logistical challenges.

Note that, while there are similarities, the patterns shown in Figure 5 differ from the ones in Figure 1. While figure 1 correlates to poverty and geography, Figure 5 distinguishes with greater clarity those municipalities with a more urgent need for an intervention, as the index indicates. Also note that accessibility and availability dimensions are more pronounced in rural and remote areas, underscoring the need for infrastructure development and the adoption of decentralized energy solutions, such as solar or wind energy systems.

On the other hand, consider the contrast between urban and rural areas in light of the multidimensional nature of energy poverty. While urban centers like Mexico City benefit from dense infrastructure networks and higher average incomes, rural municipalities often face compounded challenges. These disparities align with findings from studies on Latin American and global contexts, where rural areas consistently demonstrate higher levels of energy deprivation due to infrastructural and economic constraints (Cedano, *et al.*, 2021; Siksnyte-Butkiene, *et al.*, 2021).

Figure 5
Choropleth map of the LUMEN Index at a municipal level



Note: the darker shades indicate a higher degree of energy poverty, as calculated by the Lumen index. The shades are separated by equal sized quartiles.

Source: self-made with data from INEGI (Census 2020 and ENIGH 2020), using R and QGIS.

Yet another insight we can observe comes from the influence of the consumption dimension, where municipalities with higher deprivation scores often lack access to appliances such as refrigerators and washing machines, which serve as proxies for the accessibility of energy services. This aligns with the broader literature that identifies the role of appliance ownership in assessing household energy poverty (Matus-Enríquez, *et al.*, 2021).

The consumption dimension of the LUMEN Index provides additional insights, reflecting disparities in access to energy-driven goods and technologies. For instance, municipalities with higher deprivation scores often lack access to appliances such as refrigerators and washing machines, which serve as proxies for the accessibility of energy services. This aligns with the broader literature that identifies the role of appliance ownership in assessing household energy poverty (Matus-Enríquez, *et al.*, 2021).

V. DISCUSSION

The main challenge when designing a measurement is the tradeoff between availability of the data and accuracy of the information. A relevant feature of our index is that it's a balance of those features that provides valuable insights to policymakers. For instance, notice that Figure 1 matches almost perfectly to the map shown by Rosas-Flores & Rosas-Flores (2020), in which the authors determine and classify power consumption of climate control systems such as air conditioners, fans and electric heaters. This is a hint about how this measurement can be achieved by a readily accessible and public measure such as access to electricity (or lack thereof).

An additional benefit from the use of PCA is that we can obtain insight from the construction of the index, and how it may vary from different measurements. For instance, we notice that in southern states affordability emerges as a dominant constraint, while consumption constitutes a small proportion of the constitution of the index, reflecting the choice of the services provided by energy. Notice as well that accessibility, measured by the access to essential services from energy such as a refrigerator and a washing machine are a major driver of the index in most states.

This index was purported to stay as meager and simple as possible; to require only measurements that can be easily accessible, and the research stays easy to replicate without the need of complicated measurements. As noted, the inclusion of climate data may as well contribute to an accurate index, particularly the inclusion of weather variation throughout the year or deviations from the average can provide valuable insights. Nonetheless, while we included the climate data from “atlas climático” as a trial, it did not show any significant variation in the results shown. This may be because the variables chosen may already contain enough information to understand the levels of energy poverty in the country.

Ultimately, the main goal of this index is to provide a reliable indicator of both the municipalities where it is most urgent to intervene and a fast way to understand which dimension of the indicator is most urgent. The range of options for interventions is wide, from insulation in residential buildings where the heat is the main challenge to providing energy-saving appliances to households where that is the main issue. There is a big opportunity for financial aid to help families afford energy-saving equipment such as solar panels and boilers.

It is indeed by understanding the needs at a local level the most important step into creating policies that work.

CONCLUDING REMARKS

Our analysis shows Mexico’s significant progress in electrification, and national-level metrics suggest high access to energy; however, these aggregated indicators conceal regional disparities, particularly in remote, rural, and indigenous areas, where energy poverty stay persistent. The country’s diverse geography, economic inequalities, and infrastructure limitations create substantial variations in energy availability, affordability and quality, limiting educational and economic opportunities and perpetuating intergenerational poverty traps.

Ours is an attempt to provide a reliable yet simple way to reliably identify priority sectors. An important nuance though is that the implementation of policy might be limited by geographical factors. Therefore, the identification of priority zones might be useless if we rely solely on local government policy. For instance, consider the clear black strip in the west of Mexico shown in Figure 5. We can infer that strip was created by Sierra Madre Occidental, so the difficulty of access to energy sources from those municipalities in the states of Sonora, Chihuahua, Sinaloa and Durango are not to be fixed easily by funneling more money to the municipalities but might require the implementation of a national strategy.

The results illuminate these nuanced realities. The choropleth maps vividly show that energy poverty is not a single, uniform problem. For instance, the findings underscore that in Southern states, affordability emerges as a dominant constraint, reflecting the high economic burden of energy relative to income. Conversely, in the distinct, persistent black strip along the Sierra Madre Occidental—a feature driven by geography, not just economics—the primary issue is one of availability and accessibility. This finding is perhaps the most actionable for policymakers, as it suggests the required intervention changes fundamentally depending on the region's dominant deprivation driver.

Future research should focus on integrating a time-series approach to the LUMEN Index to accurately track the impact of specific policy interventions over time, moving beyond this static snapshot. Additionally, while the index currently balances data availability with accuracy, the inclusion of more granular and continuous climate data could further refine the measurement, particularly in understanding the energy burden related to thermal comfort and climate control. Ultimately, the LUMEN Index is a data-driven invitation for the Mexican government to evolve its energy policy from a national mandate to a highly localized, evidence-based instrument for improving the livelihoods of its most vulnerable citizens.

REFERENCES

- Abdoulaye, S. & Mokaddem, L. (2022). Energy poverty in developing countries: a review of the concepts and its measurements. *Energy Research & Social Science*, 89, Article 102562. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102562>
- Cedano, K. G., Martínez, M., Santillán, O. S. & Robles-Bonilla, T. (2021). Assessing energy poverty in urban regions of Mexico: the role of thermal comfort and bioclimatic context. *Sustainability*, 13(6), Article 3350. <https://doi.org/10.3390/su13063350>
- Che, X., Jiang, M. & Fan, C. (2021). Multidimensional assessment and alleviation of global energy poverty aligned with UN SDG 7. *Frontiers in Energy Research*, 9, Article 777244. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.777244>
- CONEVAL (2019). *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México* (3ª ed.).
- Cravioto, J. (2022). Los servicios de energía y su relación con la medición de pobreza energética en hogares. In R. García-Ochoa (Coord.), *Pobreza energética. Visiones de América Latina* (pp. 61–83). El Colegio de la Frontera Norte; El Colegio de Michoacán.
- Culver, L. (2017). Energy poverty: What you measure matters. In *Proceedings of the Reducing Energy Poverty with Natural Gas: Changing Political, Business, and Technology Paradigms Symposium*. Natural Gas Initiative, Stanford University. <https://ngi.stanford.edu/publications/energy-access-and-energy-equity/energy-poverty-what-you-measure-matters>
- Day, R., Walker, G. & Simcock, N. (2016). Conceptualising energy use and energy poverty using a capabilities framework. *Energy Policy*, 93, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.019>
- Faiella, I. & Lavecchia, L. (2021). Energy poverty: how can you fight it, if you can't measure it? *Energy and Buildings*, 233, Article 110692. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110692>
- García, M. A., García, C. I., Varela, M. & Ravelo, O. (2023). *Evaluación del desempeño del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social - Componente Municipal: Municipio de Guanaceví* (Technical report). Instituto de Evaluación de Políticas Públicas del Estado de Durango.
- García-Ochoa, R. & Graizbord, B. (2016). Caracterización espacial de la pobreza energética en México: un análisis a escala subnacional. *Economía, Sociedad y Territorio*, 16(51), 367–403. <https://doi.org/10.22136/est2016631>
- García-Ochoa, R., Avila-Ortega, D. I. & Cravioto, J. (2022). Energy services' access deprivation in Mexico: a geographic, climatic and social perspective. *Energy Policy*, 164, Article 112822. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112822>
- Guzmán-Rosas, S. C. (2023). Strategies used by rural indigenous populations to cope with energy poverty, in San Luis Potosí, Mexico. *Energies*, 16(11), Article 4479. <https://doi.org/10.3390/en16114479>
- Gunningham, N. (2013). Managing the energy trilemma: the case of Indonesia. *Energy Policy*, 54, 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.018>

- Healy, J. D. & Clinch, J. P. (2004). Quantifying the severity of fuel poverty, its relationship with poor housing and reasons for non-investment in energy-saving measures in Ireland. *Energy Policy*, 32(2), 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00265-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00265-3)
- Hong, X., Wu, S. & Zhang, X. (2022). Clean energy powers energy poverty alleviation: Evidence from Chinese micro-survey data. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, Article 121737. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121737>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022: ENIGH: nueva serie: diseño muestral*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463910602.pdf
- Isazade, S. & Altan, M. (2023). A review of literature on measuring energy poverty. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24, 336–361. <https://doi.org/10.17494/ogusbd.1241989>
- Khan, Z., Haouas, I., Trihn, H. H., Badeeb, R. A. & Zhang, C. (2023). Financial inclusion and energy poverty nexus in the era of globalization: role of composite risk index and energy investment in emerging economies. *Renewable Energy*, 204, 382–399. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.122>
- Matus-Enriquez, I. O., Morales-López, J. U., Chávez-Ruiz, T. J. & Martínez-Luna, E. S. (2021). Energy poverty from a Oaxacan context: towards an inclusive, pertinent and resilient characterization seen from the solidarity economy and the capabilities approach. *Journal of Urban and Sustainable Development*, 7(20), 1–16. <https://doi.org/10.35429/JUSD.2021.20.7.1.16>
- Meyer, S., Holzemer, L., Delbeke, B., Lucie, M. & Maréchal, K. (2018). Capturing the multifaceted nature of energy poverty: Lessons from Belgium. *Energy Research & Social Science*, 40, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.01.017>
- Menyhert, B. (2023). *Energy poverty: new insights for measurement and policy*. European Commission. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133806>
- National Institute of Statistics and Geography. (2020). *Census of Population and Housing 2020*. <https://en.www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- National Institute of Statistics and Geography. (2020). *National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2020*. <https://en.www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/>
- Nico, M. (2020). Measuring energy poverty: evidence from Mexico. *Journal of Development Economics*, 144, Article 102425. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102425>
- Nussbaumer, P., Bazilian, M. & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- Nussbaumer, P., Fuso Nerini, F., Onyeji, I. & Howells, M. (2013). Global insights based on the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI). *Sustainability*, 5(5), 2060–2076. <https://doi.org/10.3390/su5052060>
- Rosas-Flores, J. A. & Rosas-Flores, D. (2020). Potential energy savings and mitigation of emissions by insulation for residential buildings in Mexico. *Energy and Buildings*, 209, Article 109698. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109698>
- Rizal, R. N., Hartono, D., Dartanto, T. & Gultom, Y. M. L. (2024). Multidimensional energy poverty: a study of its measurement, decomposition, and determinants in Indonesia. *Heliyon*, 10(3), Article e24135. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24135>
- Sen, A. (1993). Capability and well-being. In M. Nussbaum & A. Sen (Eds.), *The quality of life* (pp. 30–53). Clarendon Press.
- Siksnelyte-Butkiene, I., Streimikiene, D., Lekavicius, V. & Balezentis, T. (2021). Energy poverty indicators: a systematic literature review and comprehensive analysis of integrity. *Sustainable Cities and Society*, 67, Article 102756. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102756>

- Soriano-Hernández, P., Mejía-Montero, A. & van der Horst, D. (2022). Characterisation of energy poverty in Mexico using energy justice and econophysics. *Energy for Sustainable Development*, 71, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.09.005>
- Streimikiene, D., Kyriakopoulos, G. L., Lekavicius, V. & Siksnyte-Butkiene, I. (2021). Energy poverty and low carbon just energy transition: comparative study in Lithuania and Greece. *Social Indicators Research*, 158, 319–371. <https://doi.org/10.1007/s11205-021-02685-9>
- Streimikiene, D. & Kyriakopoulos, G. L. (2023). Energy poverty and low carbon energy transition. *Energies*, 16(2), Article 610. <https://doi.org/10.3390/en16020610>
- United Nations. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition*. United Nations Publications. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>

Efectos de la guerra comercial E.E.U.U.–China en la agroindustria mexicana de la soya vía cópulas

Effects of the U.S.–China trade war on the mexican soybean agro-industry through copulas

David Conaly Martínez Vázquez*, Francisco J. Reyes Zárate**
y Marissa Martínez Preece***

| *Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: davidconaly@icloud.com |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3337-7165> |

| **Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: fjr@azc.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4327-2033> |

| ***Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: mrrmp@azc.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9190-175X> |

RESUMEN

México sufre escasez en la producción de soya, una de las principales leguminosas a nivel internacional, la cual es utilizada como base para la producción de alimentos para el ser humano, piensos para animales y productos industriales. Cerca del 95% de esta semilla es importada de E.U.A. Esta investigación analiza, mediante un enfoque basado en teoría de cópulas, la relación entre el precio de la soya estadounidense –afectado por la guerra comercial entre Estados Unidos y China– y el comportamiento de los principales índices bursátiles mexicanos con exposición agroindustrial. El estudio abarca el periodo comprendido entre el 22 de marzo de 2018 y el 4 de abril de 2025. Dentro de los principales resultados se muestra que el índice SmallCap (empresas de pequeña capitalización) son las que presentaron una mayor respuesta ante los movimientos en los precios de la soya y el efecto de la guerra comercial entre Estados Unidos y China.

ABSTRACT

Mexico faces a shortage in soybean production, one of the world's major legumes used for human consumption, animal feed, and industrial applications. Approximately 95% of this commodity is imported from the United States. This study examines, using a copula theory-based framework, the relationship between U.S. soybean prices — shaped by the trade war between the United States and China— and the performance of major Mexican stock market indices with agro-industrial exposure. The analysis covers the period from March 22, 2018, to April 4, 2025. The results indicate that the SmallCap index, representing small-capitalization firms, exhibited the strongest response to fluctuations in soybean prices and to the effects of the U.S.–China trade war.

Recibido: 18/agosto/2025
Aceptado: 27/febrero/2026
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Soya | Teoría de cópulas |
| Guerra comercial entre
Estados Unidos y China |

Keywords:

| Soybeans | Copula Theory |
| United States–China
trade war |

Clasificación JEL |

JEL Classification |
O44, O54, Q50



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

INTRODUCCIÓN

México depende prácticamente en su totalidad de soya estadounidense, ya que importa entre el 95% y el 98% para su consumo. Según el *United States Department of Agriculture* (USDA), se estima que para 2025 el 98% del consumo de México se cubrirá con compras de EE. UU. (USDA–FAS, 2025). Esta semilla, proveniente de la planta de soya (*Glycine max*), una de

las principales leguminosas a nivel internacional que se utilizan para la producción y comercialización de alimentos para el ser humano, piensos para animales y productos industriales. Ante este panorama, el gobierno federal ha implementado una serie de políticas con el propósito de reducir la codependencia de las importaciones y ha propuesto el Plan México (2025) —presentado por el Gobierno de México (2025)— y el plan antiinflacionario denominado Paquete contra la Inflación y la Carestía (PACIC)— impulsado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2022). Dentro del contexto de la presente investigación, el PACIC cobra relevancia ya que introduce medidas que pueden influir en los volúmenes y condiciones de importación de la soya proveniente de E.U.A, ya sea facilitando el ingreso de esta materia prima para contener los precios internos o impulsando la producción nacional para reducir la dependencia del exterior de esta leguminosa. Ambos planes influyen de manera positiva en la cadena de suministro de la soya y en el comercio.

Las medidas propuestas incluyen incentivar la producción local y aplicar aranceles cero a productos básicos. Dentro de las alternativas gubernamentales se encuentra el impulso al cultivo nacional de la soya en los estados de Tamaulipas, Chiapas y Campeche (Política de Polos del Bienestar), donde las condiciones climáticas son favorecedoras y se pretende aumentar la producción local con medidas que incluyen mejorar la infraestructura de riesgo y crecimiento, acceso a semillas mejoradas, otorgar subsidios a los productores y programas de capacitación técnica y tecnológica. En segundo lugar, se encuentra el fortalecimiento de la cadena de valor de la soya, que busca la promoción del procesamiento local de soya para aceite y alimento animal, la inversión en plantas de extracción y refinación, establecer alianzas entre los sectores público y privado, a fin de atraer inversión nacional y extranjera. Otros puntos importantes están relacionados con la diversificación de cultivos mediante rotación y la introducción de variedades más resistentes para la mejora de la productividad y reducir la importación; la sustitución de importaciones, que busca la reducción de productos extranjeros implementando aranceles menos selectivos, incentivos fiscales a empresas que sustituyan las importaciones y el fortalecimiento de la infraestructura logística y de transporte; por último, apoyar la investigación y el desarrollo, mismos que serán financiados por el propio gobierno en universidades y centros como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con el propósito de mejorar las prácticas agrícolas sostenibles, alentar el desarrollo de nuevas variedades de soya para adaptarlas al clima mexicano y reducir el uso de agroquímicos, así como aumentar el rendimiento por hectárea. Su éxito dependerá de varios factores como la inversión sostenida y que la dupla gobierno-sector privado se consolide y se encauce de forma correcta y permanente.

A pesar de las medidas dirigidas a reducir la dependencia de México a las importaciones de soya, éstas satisfacen prácticamente el total de la demanda del país, particularmente aquellas que se realizan de E.U.A., de tal manera que cualquier fenómeno de volatilidad en el comercio mundial de esta leguminosa y sus derivados afecta directamente a las empresas que la consumen directamente o en alguna fase de la cadena de suministros. Esta debilidad se acentúa porque el principal proveedor de esta materia prima es Estados Unidos, y cualquier roce comercial que este país tenga con socios estratégicos, como China, terminará repercutiendo en economías colaterales como la mexicana (FAO, 2021; OECD, 2023).

Actualmente, dentro del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), se estableció que la soya procedente de Estados Unidos ingrese a México sin pagar aranceles. En cambio, las importaciones provenientes de Sudamérica llegarían con un gravamen de la tarifa estándar de Nación Más Favorecida, que ronda el 15 %, lo cual provoca que pierdan competitividad frente al país del norte. Ante este escenario, una posibilidad es llegar a acuerdos arancelarios con países como Brasil y Argentina, y mejorar la logística en la distribución. La soya que llega a México de Estados Unidos lo hace por camión o tren; sin embargo, se podría ampliar la zona industrial de los puertos para que ésta llegara de los países sudamericanos vía marítima e

importar más harina de soya en lugar del grano como sucede actualmente, lo cual reduciría los costos al acortar la cadena de valor que está anclada al transporte ferroviario desde E.U.A.

Tal como lo menciona Bei *et al.* (2025), el riesgo geopolítico agrava el comercio internacional dados los más recientes eventos de los últimos cinco años, como la pandemia por COVID-19, los conflictos bélicos entre Rusia-Ucrania y entre Israel versus Palestina-Irán-Siria, así como otras tensiones comerciales, por ejemplo, el “efecto Trump”, en la cual el presidente norteamericano mantiene constantes amenazas arancelarias alrededor del mundo. El incremento bilateral de medidas arancelarias entre los Estados Unidos y China inició el 22 de marzo de 2018, cuando el presidente Donald Trump anunció impuestos por 50 mil millones de dólares a importaciones chinas, apoyándose en la Sección 301 de la Ley de Comercio de 1974 (Bown y Kolb, 2021; CRS, 2020). El gigante asiático respondió el 2 de abril de ese año con aranceles a 128 productos estadounidenses, y situó a la soya en una posición vulnerable ante la disputa comercial.

Esta medida se aplicó de forma precisa y contundente, ya que hasta ese momento China era el mayor destino de la soya norteamericana, así que los productores del Medio Oeste sufrieron una baja en sus exportaciones y el precio de la soya en los mercados al contado también cayó (Bekkerman *et al.*, 2019; USDA, 2020).

Durante 2018 y 2019 los dos gigantes se enfrascaron en varias rondas de tarifas y contra tarifas. La tensión comercial y política comenzó a ceder el 15 de enero de 2020 con la firma del acuerdo de “Fase Uno”, las consecuencias se hicieron evidentes: China ya había diversificado sus compras y Brasil ocupaba buena parte del espacio que antes dominaban los agricultores de Estados Unidos, alterando por completo los flujos globales de soya (Zhang, 2021).

Según el *Office of the United States Trade Representative* (USTR, 2022), con el triunfo de Joe Biden como presidente de Estados Unidos, en enero de 2021, muchos analistas anticiparon un cambio de rumbo total y un retroceso en estas disposiciones impositivas; sin embargo, los gravámenes establecidos por Trump permanecieron sin cambios. La administración entrante adoptó una postura más moderada y se concentró en coordinarse con sus aliados, revisando si China cumplía lo pactado en la Fase Uno, presionó por reformas mucho más amplias en subsidios y normas laborales, en lugar de eliminar los aranceles de manera inmediata (USTR, 2022).

Por su parte, el problema que ha enfrentado México con respecto a la soya es de carácter complejo y multifactorial, con implicaciones en la producción a nivel nacional e internacional. Más del 90% de la soya que se consume, proviene de Estados Unidos. La vulnerabilidad que se deriva de este hecho se relaciona con las políticas comerciales, variaciones en el tipo de cambio y problemas tanto logísticos como climáticos. En los dos primeros, un factor clave es la codependencia con el país vecino del norte, que actualmente maneja como estrategia política la amenaza de aplicación de aranceles y restricciones a nivel mundial.

La motivación que origina esta investigación es el escaso número de trabajos académicos que abordan este tema para países de América Latina. Existen investigaciones dedicadas al tema para mercados desarrollados como los Estados Unidos, Europa; y en el caso de economías emergentes, existe un amplio avance en investigaciones de estos temas en el caso de China. La investigación existente que analiza el mercado de la soya mediante cúpulas es escasa para el caso de economías latinoamericanas, y especialmente para la economía mexicana, que merece especial atención al tratarse de un mercado con una dinámica y estructura diferente, con limitantes y restricciones en cuanto a precios, inversiones, limitaciones institucionales, etc., y también porque es necesario hacer llegar los hallazgos de este tipo de estudios a los tomadores de decisiones a nivel comercial (privado) y gubernamental para la implementación de políticas públicas. La hipótesis de investigación se centra en los cambios de los precios de la soya, provocados por la guerra comercial entre

Estados Unidos y China, los cuales afectan el comportamiento de los índices bursátiles mexicanos estudiados en este trabajo. Considerando lo anterior, el objetivo de la presente investigación es analizar el efecto de las variaciones en el precio de la soya de Estados Unidos, en gran medida resultado de la guerra comercial entre E.U.A y China, y las consecuencias de este fenómeno en los principales índices bursátiles mexicanos con exposición agroindustrial (S&P BMV INMEX, S&P BMV IRT SmallCap, S&P BMV IRT MidCap, S&P BMV IRT LargeCap, S&P BMV IRT CompMx y S&P BMV IRT), a través de un enfoque de cópulas, durante el periodo del 22 de marzo del 2018 al 4 de marzo de 2025. Para lograr lo anterior, se dividió la información en dos ventanas de tiempo, la primera abarca del 22 de marzo de 2018 al 15 de enero de 2020 (este último día se firmó la Fase uno del acuerdo comercial entre Estados Unidos y China, “terminando” parcialmente la guerra comercial entre ambos países) y la segunda ventana del 16 de enero del 2020 al 4 de abril del 2025.

La estructura del artículo es la siguiente: en la primera sección se presenta una revisión de la literatura sobre la guerra comercial y su impacto en las materias primas, a continuación, se describe la metodología estadística utilizada, la teoría de cópulas, seguida de los resultados empíricos y por último se ofrecen las conclusiones.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La investigación basada en el estudio de cópulas en el sector agrícola parte de cuantificar el riesgo entre diferentes eventos. En el trabajo de Zhu *et al.* (2008) se evaluaron y modelaron los riesgos multivariados en la producción de maíz y soya en Iowa, EE. UU., utilizando modelos de cópulas para caracterizar la dependencia existente entre los factores de riesgo, de los seguros de ingresos generales contra los seguros específicos por cultivo. La metodología consistió en la aplicación de las cópulas paramétricas Gaussiana y t-cópula para modelar la dependencia entre los riesgos de precios y los rendimientos del maíz y la soya; se aplicó también una estimación de dos etapas: primero se calcularon las distribuciones marginales (Beta para rendimientos y Log-normal para precios) y ajustar después la cópula y capturar la dependencia; y en la segunda etapa, se realizó una simulación Monte Carlo para el cálculo de primas a diferentes niveles de cobertura. Se destacó la importancia de la variabilidad en los ingresos debida a cambios en los rendimientos. Los principales resultados evidenciaron dependencia entre los precios y los rendimientos entre cultivos, así como correlaciones negativas dentro del mismo cultivo. En la comparativa de modelos se afirma que el modelo t-cópula se ajusta mejor que la cópula Gaussiana, al capturar la dependencia en las colas de distribución. Se concluye que el uso de los modelos de cópulas mejora la precisión, permitiendo la generación de primas de seguro más justas y eficientes, lo cual podría ser considerado por los tomadores de decisiones, productores agrícolas y las autoridades que diseñan las políticas federales en EE.UU.

Liu y An (2014) realizaron un estudio para analizar la forma en que las horas dentro y fuera de operación –o *trading*– afectan el riesgo total de los mercados de futuros de cobre, caucho y soya en China, considerando que este mercado opera menos de siete horas diarias. El análisis se centra en estudiar la forma en que la información de las negociaciones de los mercados de economías desarrolladas afecta a los mercados chinos, y la manera en que sus mercados de futuros del cobre, el caucho y la soya se conectan con los primeros. Mediante modelos cópula-VaR (*Value at Risk*) y cópula-ES (*Expected Shortfall*) los autores evalúan los riesgos integrados descomponiendo su origen para identificar la proporción que se atribuye a los diferentes periodos en los que existe información. Entre sus principales hallazgos se encontró que, de acuerdo con las medidas integradas del VaR y ES, existe un mayor riesgo en el mercado del caucho, después en el de cobre y por último en el de la soya. A lo anterior se agregó que, si ambas mediciones se calculan típicamente sobre los rendimientos de cierre a cierre, existe una sobreestimación de los riesgos generales del mercado de

futuros de los productos básicos chinos, debido a que la información financiera acumulada durante las horas en que no hay negociaciones provoca ponderaciones del VaR de componentes en periodos de no negociación que sobrepasan el 40%.

En su investigación, Goodwin y Hungerford (2014) buscaron cuantificar el riesgo sistémico en precios y rendimientos de productos agrícolas, como son el maíz y la soya de cuatro condados de Illinois, EE.UU. durante el periodo 1960-2012, haciendo énfasis en eventos extremos (como sequías) y la forma en la cual impactaron en la fijación de primas de seguros, aplican cópulas gaussianas para la modelación de riesgos dependientes. Su análisis se basó en aplicar cópulas-vine, que son modelos de dependencia con cierta flexibilidad, y encontraron, al igual que Liu y An (2014) que los modelos de cópulas permiten modelar distribuciones conjuntas de múltiples riesgos (como los precios y rendimientos); compararon las colas gaussianas (i.e., sin dependencia de colas) con la alternativa de las cópulas-t (i.e., con dependencia de colas) y también con las cópulas vine (i.e., combinaciones de cópulas bivariadas), éstas últimas mostraron un mejor ajuste según los criterios AIC y BIC. Asimismo, encontraron que las cópulas gaussianas subestimaron el riesgo bajo eventos extremos, lo que implica que las primas sean potencialmente demasiado bajas. Lo anterior implica que para el cálculo de seguros y reaseguros se considere que las subestimaciones pueden llevar a afectar la sostenibilidad financiera de los programas de seguros. Concluyen, por último, que las cópulas-vine y las cópulas-t son modelos alternativos con mayor precisión que las cópulas Gaussianas para la fijación de primas, ya que éstas últimas no capturan de manera adecuada la dependencia de eventos extremos. Adoptar los modelos propuestos permitiría tener mejores resultados en la fijación de primas, ofreciendo beneficios tanto a los aseguradores como a los creadores de políticas gubernamentales agrícolas en la elaboración de programas públicos.

Por su parte, Xinyu *et al.* (2020) mediante la aplicación del enfoque Cópula-GARCH estudiaron el riesgo de contagio de la volatilidad y los co-movimientos entre mercados de productos agrícolas básicos (maíz, trigo, soya, aceite de soya, algodón y avena). Encontraron una variabilidad creciente en la volatilidad desde principios del presente siglo y subsecuentes periodos de picos en 2008, 2011, 2013 y 2014, atribuidas principalmente a factores externos relacionados con causas macroeconómicas, el nivel de la producción agrícola, crisis financieras, demanda persistente (también en biocombustibles), el calentamiento global y fases en las bolsas de valores. Afirman que los estudios en el tema se han enfocado mayormente en analizar el riesgo de contagio entre productos agrícolas y diferentes mercados, como el petróleo o el mercado accionario, y no existen estudios sobre la relación entre los mismos mercados de productos agrícolas. Los modelos de cópula y de heteroscedasticidad condicional autorregresiva generalizada (o GARCH) permitieron estudiar con mayor profundidad los fenómenos de la dependencia y el efecto contagio entre los mercados agrícolas básicos en el periodo de 2000 a 2018. Las funciones de cópulas estáticas y las cópulas dinámicas, o de variación en el tiempo mediante una función específica,¹ fueron aplicadas para el caso bivariado, y permitieron examinar las estructuras de dependencia, así como la dependencia de cola. Entre sus principales hallazgos se encuentra que existe un efecto de contagio y transmisión de riesgo significativo entre los diferentes mercados de productos agrícolas básicos, lo cual conlleva al aumento de la volatilidad. Existen también co-movimientos simétricos y extremos sustanciales entre los productos agrícolas básicos, lo cual es un indicativo de alerta por una tendencia hacia el colapso en conjunto de los mercados sujetos a estudio durante periodos de eventos extremos. También mencionan otros efectos graves como un posible impacto de crisis alimentaria y variación de dependencia.

1. Para el estudio de cópula Gaussiana se aplicaron las cópulas t-Student, Clayton y Gumbel. En tanto, para el estudio de cópulas dinámicas, una ecuación específica llamada cópula variable en el tiempo es capturada para asegurar que el parámetro de dependencia dinámica se encuentre dentro del rango (-1, 1).

Recientemente los estudios para el análisis de dependencia dinámica y efecto derrame se han desarrollado conjuntamente con modelos econométricos y de cópula; estos enfoques han mostrado resultados más eficientes, estables y de parsimonia comprobada. En Bei *et al.* (2025), por ejemplo, se analizó la dependencia dinámica y el efecto derrame (*spillover*) entre el mercado del transporte marítimo (*shipping*) y los mercados de materias primas (*o commodities*) utilizando un modelo multiescala con base en la aplicación de modelos GARCH (modelo marginal ARMA-GARCH), cópulas (Gaussiana, t-Student, Clayton, Gumbel, Frank y SCJ) y CoVaR como medida de riesgo extremo. El estudio se concentró en factores como la volatilidad del mercado, así como la manera en la que los riesgos geopolíticos incidieron en la interdependencia en estos sectores que son clave en el comercio global. Mencionan que el comercio global se ha intensificado gracias a la interconectividad entre los mercados, sobre todo, al comercio marítimo (que representa el 80% del comercio mundial) y las materias primas. Sin embargo, la asimetría de la información, la naturaleza multiescala de los mercados y otros riesgos externos, son la causa de la volatilidad y de la transmisión de riesgos entre mercados. Encontraron la existencia de derrames de riesgo bidireccionales entre los mercados de transporte marítimo y de *commodities*, en especial durante periodos de crisis. Definieron un tipo de sensibilidad sectorial, que en el caso de la soya se manifestó como una dependencia muy fuerte al mercado del transporte marítimo. Dos factores más que contribuyeron a la sensibilidad son, en primer lugar, el impacto del riesgo geopolítico, como los conflictos bélicos actuales de Europa del Este y de Medio Oriente, y tensiones comerciales. En segundo lugar, a nivel multiescala, la correlación entre mercados es más intensa, lo que implicó que la transmisión de riesgos revela efectos de largo plazo.

Mensi *et al.* (2025) analizaron la dependencia promedio y extrema de las colas entre el petróleo y productos agrícolas. También analizaron el efecto derrame y el mercado de energéticos mediante modelos econométricos y de cópula. Específicamente, estudiaron el mercado de futuros del crudo (WTI) y ocho *commodities* como trigo, maíz, soya, café, algodón, madera, cacao y ganado vivo. Coincidieron con Bei *et al.* (2025) en que el incremento de la volatilidad es ocasionado por las crisis financieras, la pandemia por COVID-19 y los conflictos geopolíticos más recientes, esta situación ha provocado una relación más intensa entre los insumos del petróleo y la agricultura (como los fertilizantes y el transporte, por ejemplo). A lo anterior debe agregarse que la producción de biocombustibles a partir de productos agrícolas, como el etanol, crea una relación bidireccional entre ambos mercados. La metodología aplicada se basa en el diseño y aplicación de modelos ARFIMA-FIGARCH con distribución t-asimétrica para el análisis de riesgos y volatilidad. Se aplicaron también cópulas normales t-Student, Clayton, Gumbel y Joe-Clayton simétrica para capturar dependencias tanto simétricas como asimétricas, especialmente en colas. Además, el modelo CoVaR y CDB (*Conditional Benefit*) fueron aplicados para cuantificar el riesgo condicional de un mercado dado un evento extremo en otro. Los resultados de los modelos econométricos aplicados y CoVaR revelaron que el efecto de derrame se dio en tres frentes: bidireccionales, en donde el riesgo se apreció observando que los productos agrícolas afectaron más al petróleo que viceversa; también se apreció que los eventos extremos se intensificaron durante el shock petrolero de 2014, el periodo de pandemia y la crisis financiera global; por último, el efecto derrame también presentó activos más sensibles al percibir que el trigo, la madera y el maíz se vieron fuertemente afectados al shock petrolero, en tanto que el ganado vivo mostró menor sensibilidad. Concluyeron que existe una dependencia significativa y dinámica entre los mercados agrícolas y de petróleo; que los derrames de riesgo son asimétricos y más fuertes en situación de mercados bajistas, por último, consideraron que las políticas públicas deben tomar en cuenta estos lazos para minimizar los impactos económicos y sociales, en especial en países que dependen de las exportaciones agrícolas.

La soya en el epicentro de la guerra comercial y sus repercusiones para México

Para empresas que cotizan en bolsa y que usan la soya como materia prima el efecto de la variación en su costo es directo; sin embargo, existen casos en que su efecto puede ser indirecto. En este sentido, los precios de las materias primas tienen una influencia en los mercados bursátiles a través de diversas vías. En aquellas empresas donde la soya (grano, harina o aceite) es un insumo principal, el aumento de su precio tiene una repercusión directa en los costos marginales, en el traslado a sus precios finales; ese aumento del costo que no se logra trasladar al cliente tiene un impacto directo en sus márgenes de utilidad, lo cual tiene, a su vez, implicaciones en su valor en el mercado financiero (Nakamura y Zerom, 2010; De Loecker *et al.*, 2016). Por otra parte, aún en índices con emisoras que no usan soya de forma directa, logran observarse efectos indirectos, que muestran una relevancia considerable en el desempeño bursátil de las empresas. Por ejemplo, los encadenamientos insumo-producto hacen que los shocks de precios se propaguen y se presente un fenómeno de co-movimiento agregado, redes de producción, etc. (Acemoglu *et al.*, 2012). De igual forma los impactos sobre inflación de alimentos y demanda agregada, y co-movimientos financieros asociados a la financiarización de *commodities* (Tang y Xiong, 2012). Por tal motivo, el vínculo de la soya frente a los índices bursátiles es evidente que aumenta en periodos extremos o bajo cambios de régimen de políticas internacionales, lo cual explica que se presenten estas variaciones no lineales y asimétricas.

Internacionalmente, existe evidencia de que la exposición de las corporaciones a los precios de materias primas afecta en mayor grado a empresas de menor tamaño, debido a la sensibilidad en las variaciones de los precios de los productos básicos, cambios en la demanda, menor diversificación, mayor competitividad y capacidad de cobertura (Han *et al.*, 2023).

Durante la guerra comercial entre E.U.A. y China el *basis*² de la soya estadounidense se vio afectado por los aranceles, y con esto hubo una reconfiguración de los flujos internacionales. Este shock exógeno tuvo repercusiones para las empresas expuestas en México, al ser un país con alta dependencia de Estados Unidos de este producto (Adjemian *et al.*, 2019; Cowley, 2020).

Tabla 1
Emisoras que forman parte de los índices con exposición a la volatilidad del precio de la soya

<i>S&P/BMV INMEX</i>	<i>S&P/BMV IRT (IRT)</i>	<i>S&P/BMV IPC SmallCap</i>	<i>S&P/BMV IRT CompMx</i>	<i>S&P/BMV IRT LargeCap</i>	<i>S&P/BMV IRT MidCap</i>
Fomento Económico Mexicano	Wal-Mart de México	Alsea	Wal-Mart de México	Wal Mart de México	Alfa
Wal-Mart de México	Grupo Bimbo	Grupo Comercial Chedraui	Grupo Bimbo	Fomento Económico Mexicano	La Comer
Gruma		Grupo Herdez	Grupo Herdez	Coca-Cola FEMSA	Gruma
Alfa				Grupo Bimbo	
Coca-Cola FEMSA					
Grupo Bimbo					

Fuente: elaboración propia con información de *Investing* (2025).

2. El *basis* (o base) de una materia prima es la diferencia entre el precio al contado y el precio de este bien en el mercado de futuros.

Los índices bursátiles seleccionados se utilizaron como referencia indirecta de la exposición del mercado financiero mexicano frente a la volatilidad del precio internacional de la soya. En su estimación se incluyen diversas empresas de sectores con vínculos agroindustriales y alimentarios, cuyas operaciones se relacionan con insumos derivados de la soya, tales como aceites, harinas o proteínas vegetales. Por ejemplo, como se muestra en la Tabla 1, Grupo Bimbo (2024), menciona en su informe de trazabilidad y sostenibilidad, que la mayor parte de su suministro de aceite de soya proviene de Estados Unidos (91%). Walmart de México (2025), que es considerada como la principal cadena de supermercados en México, comercializa en su catálogo de productos una amplia variedad de derivados de soya. Grupo Herdez (2023), señala explícitamente que el frijol de soya que utiliza proviene principalmente de Estados Unidos; sin embargo, el proceso de refinación del aceite de soya que la empresa emplea se realiza en México. Gruma (2022), describe en su reporte anual que dentro de sus principales proveedores y más importantes, están aquellos que le venden materias primas como el maíz, harina de soya y aceite de palma. Starbucks Coffee Company (2021), que forma parte de Alsea en México, menciona que la bebida de soya fue la primera opción de sus consumidores como alternativa vegetal desde 2002. Coca-Cola FEMSA (2016) adquiere a Ades en 2016, que es una empresa de bebidas a base de soya, siendo esta la marca de bebidas a base de soya líder en América Latina. En su Informe de Sustentabilidad 2019, Sigma Alimentos (2019), que es una filial de la emisora Alfa, menciona que tienen como compromiso para el año 2025 impulsar que el 80% de su compra de las categorías de cárnicos, soya y lácteos, provenga de proveedores que busquen fortalecer la sustentabilidad en su forma de operación.

Por otra parte, otro dato importante a destacar es el destino de la soya en México. De acuerdo con el informe *Oilseeds and Products Annual–Mexico 2025* (USDA, 2025), aproximadamente 87% de la soya importada por México se destina a la producción de harina para piensos, seguida del aceite para consumo humano en la industria alimentaria con 13 % y de usos industriales no alimentarios menos del 1 %, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Destino de la soya importada en México 2025

<i>Uso</i>	<i>Producto</i>	<i>Volumen (MMT)</i>	<i>Participación</i>
Piensos/pecuario	Harina de soya	8.2	87.09%
Alimento para el ser humano	Aceite de soya	1.216	12.91%
Uso industrial no alimentario	Cosméticos, etc.	-	-
Total		9.416	100.00%

Fuente: elaboración propia con información de USDA (2025).

Comprender el uso y destino final de la soya importada permite contextualizar los efectos de las variaciones en su precio internacional en el mercado financiero mexicano. Ante la caída de los precios internacionales de la soya, las importaciones mexicanas se vieron positivamente afectadas al abarataarse en el corto plazo, pero a causa del efecto volátil provocado por la política arancelaria ante las amenazas de desabasto o, bien, el alza de precios en los derivados de la soya, tales como aceites, harinas proteicas, etc., se observó un impacto negativo en los sectores avícola, ganadero y porcicultor. Sin embargo, es imposible predecir las variaciones ante la alta dependencia estructural de México hacia EE. UU., existiendo la posibilidad de diversificar sus importaciones hacia los mercados brasileño y argentino; sin embargo, esto resulta difícil de pronosticar. El volumen de importaciones de soya subió en 2024 en 6% y el precio bajó en 16.8% con respecto a 2023,

(GCMA, 2024) incrementándose la dependencia con el exterior. Las medidas que se han tomado en el Plan México y en el PACIC, al fortalecer la producción nacional, tienden a revertir esta dependencia y a evitar el desabasto.

Analizando el escenario regional, aparecen oportunidades para que exista una diversificación en la fuente de importaciones; sin embargo, la capacidad de sustitución a gran escala presenta dificultades en el corto plazo debido a la dependencia con Estados Unidos, dado que está sujeta a la guerra comercial entre China y EE.UU., la capacidad de negociación y la resiliencia de la industria nacional ante nuevos proveedores y precios globales. México se ve obligado a hacer una reconversión de estrategias de abastecimiento y administración de riesgos; los elementos principales para mantener, e incluso aumentar la seguridad alimentaria y el fomento agroindustrial mexicano, dependen de la volatilidad, la caída de precios y la reconfiguración de las cadenas de suministro.

Sin duda, la guerra comercial entre Estados Unidos y China ha reconfigurado significativamente el sector agroalimentario internacional, y el mercado de la soya no es la excepción. E.E.U.U. es uno de los principales productores y exportadores de soya, y China uno de los principales importadores, de tal manera que cualquier modificación en la política arancelaria de ambas economías afectan la competencia, los precios y la cadena de suministros (Coface, 2025).

Dado que desde 2024 China es el principal consumidor de soya a nivel internacional, y con una demanda del 75% de las importaciones globales, es trascendente el desplome observado en la economía de Estados Unidos, afectada en su competitividad, ante la imposición del 15% de aranceles en este mercado por parte del gobierno asiático en represalia a la política arancelaria de Trump en marzo de 2025. Anteriormente, en el primer mandato de Trump en 2018, hubo una caída del 75% de las importaciones de Estados Unidos de soya a China, con la consecuencia que este último país cambió a proveedores sudamericanos de esta leguminosa, como Brasil y Argentina, lo cual provocó que estos países fortalecieran sus vínculos con el gigante asiático. En el mediano plazo se prevé que México también importe soya de estos países (Méndez, 2024 y Agrolatam, 2025).

El problema de la guerra comercial desencadenó una sobreproducción de granos en EE.UU., cuyo excedente provocó el desplome de los precios de la soya, junto con la pérdida del mercado chino y la incertidumbre de la economía mexicana. La caída llegó a ser hasta de quince por ciento interanual a mediados de 2025. La reacción de los agricultores norteamericanos ante esta reducción fue la decisión forzada de vender a precios por debajo de sus costos de producción, así como optar por la búsqueda de mercados alternativos, como México, Indonesia y Egipto. Este antecedente expuso a los productores de Estados Unidos a una crisis financiera y operativa, ya que se vio fuertemente afectada la previsión de costos, así como los contratos de abastecimiento (Agrolatam, 2025).

II. METODOLOGÍA

El análisis de la correlación en la literatura económico-financiera es un tema recurrente en la investigación académica; no obstante, las herramientas tradicionales parten de supuestos y/o asumen comportamientos en las distribuciones de los fenómenos que no son aplicables a la realidad económica. Por esta razón, la presente investigación propone el uso de la teoría de cópulas para examinar la relación entre variables macroeconómicas y reales en un contexto de volatilidad comercial y arancelaria. A partir de este marco conceptual, que parte del teorema de Sklar (1959), el método une las distribuciones marginales de cada variable en una función de distribución conjunta, permitiendo describir la estructura de dependencia y no sólo un estimador.

Teorema de Sklar

Dada una función de distribución n -dimensional F con distribuciones marginales continuas $F_1, \dots, F_n$, existe una única n -cópula, $C: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$, tal que:

$$F(X_1, \dots, X_n) = C(F_1(X_1), \dots, F_n(X_n)) \quad (1)$$

Por lo tanto, la función cópula “ C ”, une a las marginales para generar una función de distribución multivariada. Según este teorema, cualquier distribución conjunta continua puede descomponerse en sus marginales y una cópula que describe toda la estructura de dependencia, esto permite trabajar con variables de naturaleza muy distinta sin transformar sus distribuciones originales. En el caso de la presente investigación, estas funciones de distribución son las diferencias logarítmicas de los precios de la soya y de los índices seleccionados, la cópula es bivariada, ya que se desea analizar la relación de los precios en cada uno de los índices de manera independiente.

En la práctica, se consideran usualmente dos familias, la elíptica (Gaussiana y t-Student) y las Arquimedianas (Clayton, Frank y Gumbel). Las primeras resultan útiles cuando la dependencia es aproximadamente simétrica, la t-Student, captura dependencia en eventos extremos. Por otra parte, las segundas ofrecen mayor flexibilidad para modelar colas pesadas de forma asimétrica, la cópula Clayton captura la dependencia en la cola inferior, la de Gumbel en la superior y la de Frank describe la parte media de la distribución. Para evaluar el riesgo en escenarios extremos se calcula el coeficiente de dependencia de cola. Para una lectura más detallada sobre la teoría de cópulas, puede consultar Sklar (1959), Nelsen (2006) y Hofert *et al.* (2019).

En la Tabla 3 se presenta la expresión matemática que permite la estimación de la dependencia de cola en cada de las cópulas propuestas. Es importante destacar que ésta es una ventaja de la metodología propuesta frente a las técnicas tradicionales para el cálculo de la correlación y/o dependencia.

Tabla 3
Parámetro de dependencia cola λ en términos de la cópula

Cópula	λ_u	λ_l
Normal/Gaussiana	$\lambda = 2 \lim_{y \rightarrow \infty} \Phi\left(\frac{y-\theta y}{\sqrt{1-\theta^2}}\right) = 0$	$\lambda = 2 \lim_{y \rightarrow \infty} \Phi\left(\frac{y-\theta y}{\sqrt{1-\theta^2}}\right) = 0$
t-Student	$\lambda = 2t_{v+1}\left(-\sqrt{\frac{(v+1)(1-\theta)}{1+\theta}}\right)$	$\lambda = 2t_{v+1}\left(-\sqrt{\frac{(v+1)(1-\theta)}{1+\theta}}\right)$
Clayton	0	$2^{-\frac{1}{\theta}}$
Frank	0	0
Gumbel	$2 - 2^{-\frac{1}{\theta}}$	0

Fuente: elaboración propia.

Método de Pseudo-Máxima Verosimilitud

Los parámetros en la presente investigación se estimaron por el método de pseudo-máxima verosimilitud, este debido a su practicidad y sencillez.

Una vez estimadas las funciones de distribución marginal $F_1, \dots, F_d$, se construyen observaciones transformadas $(\tilde{U}_1, \tilde{U}_2)$, siendo la función por maximizar:

$$\theta = \sum_{i=1}^n \ln(U_{i,n}) \quad (2)$$

Bondad de ajuste

La selección del modelo se basa en los criterios AIC (Criterio de Información de Akaike) y BIC (Criterio de Información Bayesiano), donde el valor más bajo indica la cópula con mejor ajuste.

Criterio de información de Akaike (Akaike Information Criterion, AIC)

$$AIC = -2 \ln(\hat{\theta}) + 2k \quad (3)$$

En esta formulación, $\ln$ hace referencia al logaritmo natural de la función de verosimilitud, y k señala el total de parámetros incluidos en la estimación, de acuerdo con Hofert *et al.* (2019).

Criterio de información bayesiano (Bayesian Information Criterion, BIC)

Se trata de un indicador complementario de ajuste estadístico que incorpora de forma explícita a “n”, el tamaño muestral, aspecto que no es considerado de forma explícita por el AIC.

$$BIC = -2 \log(\hat{\theta}) + k \log(n) \quad (4)$$

donde $\log(\hat{\theta})$, se refiere al logaritmo de la función de verosimilitud evaluada en el estimador óptimo, n es el tamaño de la muestra, y k , al igual que en el AIC, designa el número total de parámetros ajustados, (Bolancé *et al.*, 2015).

Debido a que se estimaron diferentes cópulas, es evidente que los parámetros no son fácilmente interpretables, por esta razón se procedió a estimar el τ de Kendall. En las cópulas elípticas el parámetro estimado $\theta \in [-1, 1]$ tiene su interpretación tal cual el parámetro de correlación de Pearson. Sin embargo, en las cópulas Arquimedianas no se cumple con esta característica; por lo tanto, se requiere un estadístico diferente para poder comparar. En este caso, se utilizó la τ de Kendall; en la Tabla 4, se muestran los diferentes estadísticos a partir de las cópulas estimadas.

Tabla 4
Parámetro τ de Kendall en términos de la cópula

<i>Cópula</i>	<i>τ de Kendall</i>
Normal/Gaussiana	$\frac{2}{\pi} \arcsen(\theta)$
t-Student	$\frac{2}{\pi} \arcsen(\theta)$
Clayton	$\frac{1}{2\theta + 1}$
Frank	$1 - \frac{4}{\theta} + \frac{4}{\theta^2} \int_0^1 \frac{x}{e^x - 1} dx$
Gumbel	$1 - \frac{1}{\theta}$

Fuente: elaboración propia.

III. EVIDENCIA EMPÍRICA

Se consideró el periodo del 22 de marzo de 2018 al 4 de abril del 2025 de los precios al contado de la soya en Estados Unidos (Macrotrends, 2025), y de los índices S&P BMV INMEX, S&P BMV IRT SmallCap, S&P BMV IRT MidCap, S&P BMV IRT LargeCap, S&P BMV IRT CompMx y S&P BMV IRT (Investing.com, 2025), cuya clave, denominación y descripción se presentan en la Tabla 5. Ya que coincide con el anuncio de aranceles bajo la sección 301, el presidente Trump firmó un memorando donde indicó a la USTR (la *Office of the United States Trade Representative*) imponer aranceles a las importaciones del gigante asiático, dando inicio a la guerra comercial, y el 4 de abril del 2025 es la fecha de corte para inicio de la presente investigación. Con respecto a la soya, se tomaron estos valores en dólares estadounidenses por bushel.³ Es importante considerar que para analizar el efecto de la guerra comercial y de las políticas arancelarias en el precio de la soya y las repercusiones en el mercado comercial y empresarial en México, se realizó el análisis en dos ventanas de tiempo, del 22 de marzo de 2018 al 15 de enero de 2020 (este último día se firma la “Fase uno” del acuerdo comercial entre Estados Unidos y China, terminando parcialmente la guerra comercial entre ambos países) y la segunda ventana del 16 de enero del 2020 al 4 de abril del 2025, (periodo posterior al Acuerdo de Fase Uno, que abarca la administración de Joe Biden y parte del segundo periodo presidencial de Donald Trump).

Tabla 5
Índices seleccionados

<i>Clave</i>	<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>
INMX	S&P/BMV INMEX	Empresas de capitalización media y alta que sigue el desempeño bursátil de las 20 a 25 emisoras más líquidas que no están incluidas en el IPC principal.
IRT	S&P/BMV IRT	Agrupación de compañías de capitalización pequeña, mediana y grande dentro del universo del IPC CompMx.
IRTSM	S&P/BMV IRT SmallCap	Grupo de empresas de baja capitalización.
IRTCP	S&P/BMV IRT CompMx	Índice que cubre todas las acciones del IPC CompMx.
IRTLG	S&P/BMV IRT LargeCap	Empresas de gran capitalización.
IRTMI	S&P/BMV IRT MidCap	Empresas con mediana capitalización.

Fuente: elaboración propia.

3. El bushel es una unidad de medida para productos agrícolas en Estados Unidos y Canadá, con equivalencias en kilogramos según el tipo de producto.

Tabla 6
Correlación vía cópulas: soya vs variables seleccionadas (marzo 2018–enero 2020)

<i>Soya vs</i>	<i>Cópula</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Log. Ver.</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	<i>t-Kendall</i>	<i>Upper TD</i>	<i>Lower TD</i>
S&P BMV INMEX	Normal	0.16	5.45	-8.9	-4.8	0.1	0	0
	t-Student	0.15	5.46	-6.9	1.3	0.1	0	0
	Gumbel	1.09	5.67	-9.4	-5.3	0.09	0.12	0
	Survival Clayton	0.18	5.14	-8.3	-4.2	0.08	0.02	0
	Frank	0.84	4.27	-6.5	-2.4	0.09	0	0
S&P BMV IRT SmallCap	Normal	0.18	7.27	-13	-8.4	0.12	0	0
	t-Student	0.16	8.54	-13	-4.9	0.1	0.01	0.01
	Gumbel	1.11	9.36	-17	-13	0.1	0.14	0
	Survival Clayton	0.22	8.29	-15	-10	0.1	0.05	0
	Frank	0.79	3.74	-5.5	-1.4	0.09	0	0
S&P BMV IRT MidCap	Normal	0.14	4.25	-6.5	-2.4	0.09	0	0
	t-Student	0.14	4.13	-4.3	3.94	0.09	0	0
	Gumbel	1.08	4.04	-6.1	-2	0.07	0.1	0
	Clayton	0.16	4.42	-6.9	-2.7	0.08	0.01	0
	Frank	0.69	2.91	-3.8	0.28	0.08	0	0
S&P BMV IRT LargeCap	Normal	0.16	5.57	-9.1	-5	0.1	0	0
	t-Student	0.16	5.57	-7.1	1.1	0.1	0	0
	Gumbel	1.09	5.54	-9.1	-5	0.09	0.12	0
	Survival Clayton	0.17	4.57	-7.1	-3	0.08	0.02	0
	Frank	0.88	4.71	-7.4	-3.3	0.1	0	0
S&P BMV IRT CompMx	Normal	0.16	5.58	-9.2	-5.1	0.1	0	0
	t-Student	0.16	5.67	-7.3	0.87	0.1	0	0
	Gumbel	1.1	5.78	-9.6	-5.5	0.09	0.12	0
	Clayton	0.18	4.99	-8	-3.9	0.08	0.02	0
	Frank	0.87	4.54	-7.1	-3	0.1	0	0
S&P BMV IRT	Normal-	0.16	5.25	-8.5	-4.4	0.1	0	0
	t-Student	0.15	5.29	-6.6	1.64	0.1	0	0
	Gumbel	1.09	5.44	-8.9	-4.8	0.08	0.11	0
	Survival Clayton	0.17	4.6	-7.2	-3.1	0.08	0.02	0
	Frank	0.85	4.34	-6.7	-2.6	0.09	0	0

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 6, se presentan los resultados obtenidos en la etapa de mayor tensión arancelaria, donde el mayor ajuste se obtiene con la cópula Gumbel, lo cual evidencia una relación con la cola superior o alza de los precios. Este resultado también sugiere que ante cambios de régimen con repercusiones en el encarecimiento de las materias primas o un shock al alza de la soya, esto repercutirá con un movimiento similar de los índices seleccionados. El índice SmallCap mostró una mayor sensibilidad al movimiento de esta materia prima, lo cual es congruente con la teoría económica, ya que empresas pequeñas poseen una menor diversificación y menor protección financiera, por lo que los movimientos en los precios de su materia prima repercuten de manera

directa en sus costos de producción y expectativas de flujos de efectivo (Bekaert y Harvey, 2003; Zhang, 2021). La Tabla 7, muestra los resultados del periodo posterior al acuerdo de la Fase Uno, en el cual se obtuvieron correlaciones menores a las del primer periodo.

Tabla 7
Periodo posterior al Acuerdo de Fase Uno: Trump–Biden (2020–2025)

<i>Soya vs</i>	<i>Cópula</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Log. Ver.</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	<i>t-Kendall</i>	<i>Upper TD</i>	<i>Lower TD</i>
S&P BMV INMEX	Normal	0.13	10.88	-19.76	-14.59	0.08	0	0
	t-Student	0.13	10.4	-16.8	-6.46	0.08	0	0
	Survival Gumbel	1.08	10.61	-19.22	-14.05	0.07	0	0.1
	Clayton	0.15	11.2	-20.4	-15.24	0.07	0	0.01
	Frank	0.79	10.94	-19.87	-14.7	0.09	0	0
S&P BMV IRT SmallCap	Normal	0.09	5.69	-9.38	-4.22	0.06	0	0
	t-Student	0.1	8.81	-13.62	-3.28	0.06	0	0
	Survival Gumbel	1.07	8.29	-14.58	-9.41	0.06	0	0.08
	Clayton	0.12	7.15	-12.31	-7.14	0.06	0	0
	Frank	0.59	6.14	-10.29	-5.12	0.07	0	0
S&P BMV IRT MidCap	Normal	0.11	7.08	-12.15	-6.99	0.07	0	0
	t-Student	0.11	6.03	-8.07	2.27	0.07	0	0
	Survival Gumbel	1.06	6.44	-10.88	-5.71	0.06	0	0.08
	Clayton	0.11	5.76	-9.52	-4.35	0.05	0	0
	Frank	0.64	7.27	-12.54	-7.37	0.07	0	0
S&P BMV IRT LargeCap	Normal	0.13	10.44	-18.89	-13.72	0.08	0	0
	t-Student	0.13	10.18	-16.36	-6.02	0.08	0	0
	Survival Gumbel	1.08	10.54	-19.08	-13.91	0.07	0	0.1
	Clayton	0.15	11.49	-20.97	-15.8	0.07	0	0.01
	Frank	0.76	10.16	-18.31	-13.14	0.08	0	0
S&P BMV IRT CompMx	Normal	0.14	11.92	-21.84	-16.67	0.09	0	0
	t-Student	0.14	11.76	-19.52	-9.18	0.09	0	0
	Survival Gumbel	1.08	11.77	-21.53	-16.36	0.08	0	0.1
	Clayton	0.16	12.05	-22.1	-16.93	0.07	0	0.01
	Frank	0.81	11.55	-21.1	-15.93	0.09	0	0
S&P BMV IRT	Normal	0.13	11.61	-21.21	-16.04	0.09	0	0
	t-Student	0.13	11.34	-18.68	-8.34	0.09	0	0
	Survival Gumbel	1.08	11.21	-20.42	-15.26	0.07	0	0.1
	Clayton	0.15	11.57	-21.15	-15.98	0.07	0	0.01
	Frank	0.8	11.27	-20.54	-15.37	0.09	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8
Variación entre los dos periodos

<i>Índice</i>	<i>Variación entre ambos periodos (Kendall)</i>
S&P BMV INMEX	0
S&P BMV IRT SmallCap	-0.04
S&P BMV IRT MidCap	-0.01
S&P BMV IRT LargeCap	-0.03
S&P BMV IRT CompMx	-0.02
S&P BMV IRT	0.01

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 8, posterior a la firma del acuerdo económico “Fase uno”, se redujo la correlación como se muestra en la estimación del (τ) y en la variación entre ambos periodos. En general, esto fue resultado del menor ruido arancelario y volatilidad ocasionada por la presión impuesta sobre el comercio exterior, originada en Estados Unidos. No obstante, y como consecuencia de esto, China diversificó su comercio con Brasil, lo cual repercutió en un desacoplamiento parcial del precio de la soya en el desempeño bursátil de México; es decir, al ampliar su comercio China con Brasil, el precio de la soya ya no se movería con tanta sincronía con el sector financiero mexicano. A pesar de ello, el ajuste con las cópulas Clayton o Survival Gumbel en varios índices, son una muestra de la co-movilidad en las caídas (cola inferior). Los retrocesos en los precios de la soya coinciden con rendimientos débiles en algunos índices. Dicho de otro modo, se redujo la correlación promedio, pero persistieron dependencias asimétricas en los extremos de la distribución, (Patton, 2012; Tang y Xiong, 2012).

Es importante observar que, aunque la soya es una materia importante para la industria en México, su precio es solo uno de los varios costos que enfrentan las empresas, y que muchas de estas se protegen de estas variaciones a través de derivados, y por esto, el traspaso a los precios de los indicadores pudiera no parecer tan grande. Además, la propia actividad económica tiende a diluir en cierta medida el impacto de una mercancía en particular dentro del mercado. Sin embargo, ahí radica uno de los puntos a destacar de la presente investigación, las cópulas capturan este tipo de movimientos, mientras que las métricas tradicionales lineales para medir la correlación no lo hacen. Un estadístico τ bajo, pero significativo es lo más probable que se obtenga en el análisis de índices diversificados, pero esto no contradice uno de los hallazgos principales de esta investigación, aunque la correlación sea moderada, esta se vuelve más evidente ante escenarios extremos o bajo ciertos cambios de regímenes de política abruptos. La significancia y evidencia de asimetría en la cola, a pesar de que el τ de Kendall parece ser débil, es evidencia de interdependencia económica y financiera en episodios de estrés y cambios de régimen, lo cual como se ha mencionado, los métodos tradicionales no logran capturar.

Al comparar los dos periodos, es evidente que los índices que tuvieron la mayor fluctuación fueron el SmallCap (-0.04) y el LargeCap (-0.03). En el SmallCap la caída indica que las firmas pequeñas, por su tamaño, son más sensibles ante perturbaciones externas, como los aranceles o los cambios en los precios agrícolas, debido a su reducida capacidad de absorción de riesgos y a su limitada diversificación. Eso concuerda con la idea, bastante aceptada, de que las compañías pequeñas presentan mayor vulnerabilidad frente a perturbaciones exógenas y condiciones macroeconómicas adversas, especialmente en economías emergentes. (Bekaert y Harvey, 2003; Chui *et al.*, 2010). Por otra parte, aunque pareciera contradictorio el

hecho de que el índice LargeCap también mostró una mayor variación entre ambos periodos, esto se debió a la estructura de las empresas que lo componen. La relación inversa que se observa entre el precio de la soya y los índices SmallCap y LargeCap muestra que, aunque estas empresas son muy diferentes en tamaño y organización, ambas sintieron la turbulencia en el escenario internacional de la guerra comercial. Las firmas SmallCap sufrieron más por su fragilidad operativa y la falta de diversificación (Han *et al.*, 2023), mientras que las LargeCap lo hicieron porque participan en cadenas de valor globales donde la soya es un insumo clave para la producción (Tang y Xiong, 2012).

En cambio, en lo que respecta a INMEX y el IRT Total, las variaciones fueron muy pequeñas en términos de su dinámica. El índice INMEX permaneció en cero, lo que nos muestra que las empresas medianas siguieron comportándose igual frente al precio de la soya. El IRT Total tuvo un leve incremento de 0.01, como consecuencia de la firma del Acuerdo de Fase Uno, el comercio de productos agrícolas se estabilizó y los cambios de los precios de las materias primas se distribuyeron de forma más equitativa.

En este contexto, la economía mexicana depende cada vez más de la importación de esta leguminosa, al punto de ser muy cercano al 100 % de las necesidades del país. Esa concentración resulta riesgosa y poco conveniente para un país como el nuestro. En virtud de que los resultados que evidencian una relación estadísticamente significativa entre el precio de la soya en Estados Unidos y el desempeño bursátil de las empresas mexicanas del sector, se vuelve necesario contemplar estrategias que mitiguen esta vulnerabilidad de carácter estructural. A partir de los hallazgos de esta investigación, se propone diversificar los orígenes de compra y abrir nuevos canales de importación con otras economías, a fin de reducir la dependencia actual de la soya proveniente de Estados Unidos, y en especial ante escenarios adversos y volátiles. Es evidente que esto generaría mayores costos, y requeriría de adecuaciones de puertos marítimos y zonas industriales, por la cercanía geográfica de los Estados Unidos con México, además que se debiera considerar la posibilidad de generar fricciones con los tratados comerciales.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los principales hallazgos encontrados en la presente investigación, cabe destacar que el conflicto arancelario entre Estados Unidos y China generó un reacomodo global de precios agrícolas que se transmitió a la economía mexicana, como consecuencia de su alta dependencia hacia su vecino del norte. Los resultados evidencian que las empresas mexicanas más pequeñas fueron las que recibieron el mayor impacto de la guerra comercial, lo anterior debido a su poca capacidad de diversificación y de absorción de riesgos. Este resultado es consistente con la evidencia empírica reportada en la literatura económico-financiera, la cual señala que las empresas de menor tamaño tienden a ser más sensibles ante eventos externos y contextos macroeconómicos desfavorables.

De acuerdo con la hipótesis planteada, la volatilidad en el precio de la soya importada desde Estados Unidos, como resultado de su guerra comercial con China, sí tuvo efectos observables sobre los índices bursátiles con exposición agroindustrial. Los resultados confirman que la correlación entre el precio de la soya y el índice SmallCap reflejan que este tipo de empresas dependen de insumos básicos; también evidencian la escasa protección existente cuando los costos presentan cambios abruptos en su tendencia, i.e, mayor volatilidad. Cabe destacar que en todos los índices seleccionados se observó evidencia de, que al menos, una emisora utiliza la soya de forma directa o indirecta. No obstante, debido a la metodología empleada para su cálculo y recalibración constante, no fue posible precisar el peso específico de dichas empresas dentro del indicador. Sin embargo, resulta relevante señalar que las compañías vinculadas al uso de la soya destacan por su volumen de operaciones y su papel dentro del sector.

Las empresas de gran capitalización también experimentaron un efecto negativo, aunque su diversificación amortiguó parte del impacto. En contraste, las empresas medianas agrupadas en el INMEX no reflejaron variación. El índice IRT Total tuvo una variación inclusive de una centésima al alza o de manera positiva, señal de que tras el Acuerdo de Fase Uno, el mercado propagó los efectos adversos de los precios agrícolas con mayor equilibrio. Las variaciones observadas en los índices no pueden entenderse como simples oscilaciones financieras, sino como el reflejo de las presiones que enfrentan las empresas agroindustriales mexicanas ante el incremento en el costo de los insumos provenientes del exterior. En este sentido, el impacto financiero es una muestra de cómo las tensiones comerciales se trasladan de manera tangible hacia la economía real del país.

El presente artículo, corrobora cómo conflictos comerciales entre potencias económicas, tienen repercusiones financieras tangibles en economías interdependientes como lo es el caso de México. El uso de las funciones cópulas permitió capturar estos cambios, correlaciones y confirmar que los choques externos derivados de la guerra comercial se manifestaron en los mercados bursátiles agroindustriales nacionales. En futuras investigaciones se buscará profundizar en el análisis sectorial y en etapas posteriores del conflicto, ya que cabe señalar que al término de esta investigación China ha dejado de importar soya de Estados Unidos, fenómeno que no se había presentado en años (2018), como resultado a las tensiones comerciales y arancelarias. Lo anterior, con el fin de ampliar la comprensión de sus efectos estructurales.

REFERENCIAS

- Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A. y Tahbaz-Salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 80(5), 1977-2016. <https://doi.org/10.3982/ECTA9623>
- Adjemian, M. K., Arita, S., Breneman, V., Johansson, R. y Williams, R. (2019). Tariff retaliation weakened the U.S. soybean basis. *Choices*, 34(4). https://www.choicesmagazine.org/UserFiles/file/cmsarticle_722.pdf
- Agrolatam. (2025). *Mercado de granos: cotización del trigo, maíz y soja al 14 de marzo de 2025*. <https://www.agrolatam.com/nota/mercado-granos-precios-trigo-maiz-soja-14-marzo-2025/>
- Bei, H., Wang, Q., Yan, X. y Geng, X. (2025). Multiscale extreme risk spillover between shipping and commodity markets: an analysis based on GARCH-Copula-CoVaR. *Energy Economics*, 148, Article 108564. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108564>
- Bekaert, G. y Harvey, C. R. (2003). Emerging markets finance. *Journal of Empirical Finance*, 10(1-2), 3-55. [https://doi.org/10.1016/S0927-5398\(02\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0927-5398(02)00054-3)
- Bolancé, C., Guillén, M. y Padilla, A. (2015). *Estimación del riesgo mediante el ajuste de cópulas* (UB Riskcenter Working Paper Series 2015-01). Universidad de Barcelona. <https://www.ub.edu/rfa/research/WP/UBriskcenterWP201501.pdf>
- Bown, C. P. y Kolb, M. (2021). Trump's trade war timeline: an up-to-date guide. Peterson Institute for International Economics. <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/trump-trade-war-timeline.pdf>
- Chui, A. C. W., Titman, S. y Wei, K. C. J. (2010). Individualism and momentum around the world. *Journal of Finance*, 65(1), 361-392. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2009.01532.x>
- Coca-Cola FEMSA. (2016). *2016 Annual Report*. https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/c/NYSE_KOF_2016.pdf
- Coface. (2025). *Country & Sector Risks Handbook 2025*. <https://business-information.coface.com/content/download/1137/file/Priru%C4%8Dnik%20rizika%202025.pdf>
- Congressional Research Service. (2020). *U.S.-China Trade and Economic Relations*. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL33536>

- Cowley, C. (2020). Reshuffling in soybean markets following Chinese tariffs. *Economic Review*, 105(1), 57-82. Federal Reserve Bank of Kansas City. <https://doi.org/10.18651/ER/v105n1Cowley>
- De Loecker, J., Goldberg, P. K., Khandelwal, A. K. y Pavcnik, N. (2016). Prices, markups, and trade reform. *Econometrica*, 84(2), 445-510. <https://doi.org/10.3982/ECTA11042>
- FAO. (2021). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/522c9fe3-0fe2-47ea-8aac-f85bb6507776/content>
- Gobierno de México. (2025). *Plan México (2025-2030). Estrategia de Desarrollo Económico Equitativo y sustentable para la Prosperidad Compartida. Primer borrador*. <https://www.planmexico.gob.mx>
- Goodwin, B. K. y Hungerford, A. (2014). Copula-based of systemic risk in U.S. agriculture: implications for crop insurance and reinsurance contracts. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(3), 879-896. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau086>
- Gruma. (2022). *Reporte ESG 2022*. https://www.gruma.com/media/720640/reporte_esg_2022.pdf
- Grupo Bimbo. (2024). *Informe de progreso: Política Agrícola Mundial 2024*. https://d2rwhogv2mrkk6.cloudfront.net/s3fs-public/politicas/planes-accion/Progress%20Report_Global%20Ag_Jun2024%20%28ESP%29.pdf?VersionId=9oPxy1ylKAGwSFLU1AOKVQXLjj1IqwMd
- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas. (2024, 18 de julio). *Importaciones de granos y oleaginosas*. <https://gcma.com.mx/reportes/importaciones-de-granos-y-oleaginosas/>
- Grupo Herdez. (2023). *Informe anual 2023*. <https://2023.ia.grupoherdez.com.mx/>
- Han, X., Laing, E., Lucey, B. M. y Vigne, S. (2023). Corporate commodity exposure: a multi-country longitudinal study. *Journal of Commodity Markets*, 30, Article 100329. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2023.100329>
- Hofert, M., Kojadinovic, I., Mächler, M. y Yan, J. (2019). *Elements of copula modeling with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-89635-9>
- Investing.com. (2025). *S&P/BMV IRT (IRT) – Componentes*. Recuperado el 4 de abril de 2025, de <https://mx.investing.com>
- Liu, Q. y An, Y. (2014). Risk contributions of trading and non-trading hours: evidence from Chinese commodity future markets. *Pacific-Basin Finance Journal*, 30, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2014.07.005>
- Macrotrends LLC. (2025). *Soybean prices – 45 year historical chart*. Recuperado el 4 de abril de 2025, de <https://www.macrotrends.net>
- Méndez, T. (2024). *El caso de la soya en el conflicto comercial entre Estados Unidos y China* (Tesis doctoral). Universidad de Puerto Rico. <https://hdl.handle.net/11721/4027>
- Mensi, W., Rehman, M. U., Gök, R., Gemici, E. y Vo, X. V. (2025). Risk spillovers and diversification benefits between crude oil and agricultural commodity futures markets. *Research in International Business and Finance*, 73, Article 102579. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102579>
- Nakamura, E. y Zerom, D. (2010). Accounting for incomplete pass-through. *The Review of Economic Studies*, 77(3), 1192-1230. <https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2009.589.x>
- Nelsen, R. B. (2006). *An introduction to copulas* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-28678-0>
- Office of the United States Trade Representative. (2023). *2022 report to Congress on China's WTO compliance*. Executive Office of the President. <https://ustr.gov/sites/default/files/2023-02/2022%20USTR%20Report%20to%20Congress%20on%20China's%20WTO%20Compliance%20-%20Final.pdf>

- OECD. (2023). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023: Mexico*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/agricultural-policy-monitoring-and-evaluation-2023_b14de474-en/full-report/mexico_62599e41.html
- Patton, A. J. (2012). A review of copula models for economic time series. *Journal of Multivariate Analysis*, 110, 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2012.02.021>
- SHCP. (2022). *Paquete contra la Inflación y la Carestía (PACIC)*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723331/CPM_SHCP_Pacic__04may22.pdf
- Sigma Alimentos. (2019). *Informe de sustentabilidad 2019*. Recuperado el 15 de octubre de 2025, de <https://sustainability.sigma-alimentos.com/wp-content/uploads/2020/10/Informe-Sustentabilidad-2019-1.pdf>
- Sklar, A. (1959). *Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges*. Publications de l'Institut Statistique de l'Université de Paris, 8, 229-231.
- Starbucks Coffee Company. (2021). *Starbucks integra leche de avena a sus alternativas de origen vegetal*. Recuperado el 20 de octubre de 2025, de <https://www.starbucks.com.mx/articulo/starbucks-integra-leche-de-avena-sus-alternativas-de-origen-vegetal>
- Tang, K. y Xiong, W. (2012). Index investment and the financialization of commodities. *Financial Analysts Journal*, 68(6), 54-74. <https://doi.org/10.2469/faj.v68.n6.5>
- USDA Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2025). *Mexico: Oilseeds and Products Annual* (GAIN Report No. MX2025-0018). Recuperado el 21 de octubre de 2025, de https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oilseeds+and+Products+Annual_Mexico+City_Mexico_MX2025-0018.pdf
- USDA Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2020). *Oilseeds: World Markets and Trade*. <https://www.fas.usda.gov>
- Walmart de México. (2025). *Catálogo de productos*. Recuperado de <https://www.walmart.com.mx/>
- Westhoff, P., Davids, T. y Soon, B. M. (2019). Impacts of retaliatory tariffs on farm income and government programs. *Choices*, 34(4), 1-8. https://www.choicesmagazine.org/UserFiles/file/cmsarticle_721.pdf
- Xinyu, Y., Jiechen, T., Wing-Keung, W. y Songsak, S. (2020). Modeling co-movement among different agricultural commodity markets: a copula-GARCH approach. *Sustainability*, 12(1), Article 393. <https://doi.org/10.3390/su12010393>
- Zhang, W. (2021). The case for healthy U.S.–China agricultural trade relations despite deglobalization pressures. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(1), 225-247. <https://doi.org/10.1002/aep.13115>
- Zhu, Y., Ghosh, S. K. y Goodwin, B. K. (2008). Modeling dependence in the design of whole farm insurance contract: a copula-based model approach. En *2008 Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.6282>

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).

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

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*.

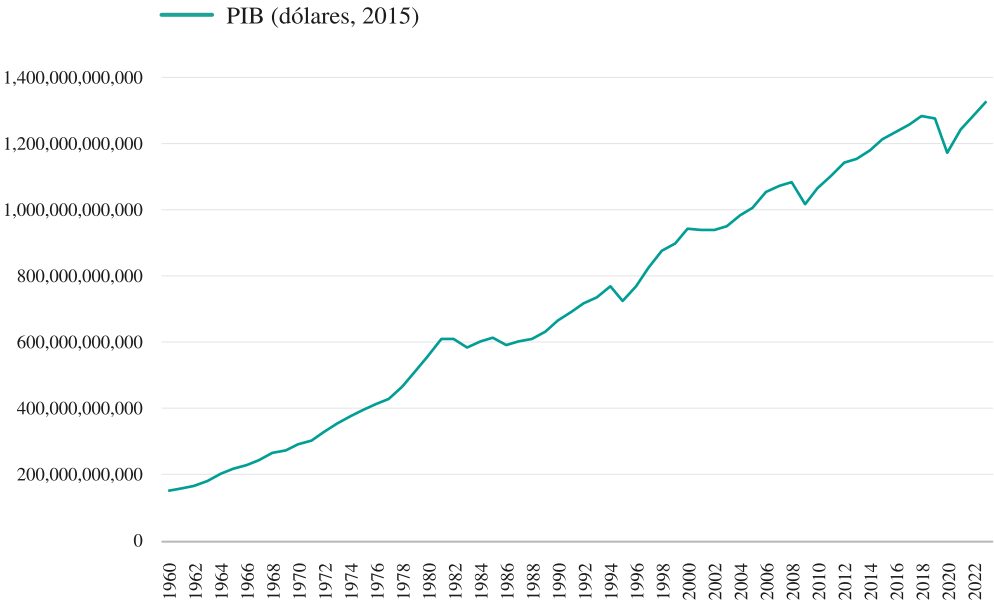
III. RESULTADOS

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

Resultados con el Método de Tapio

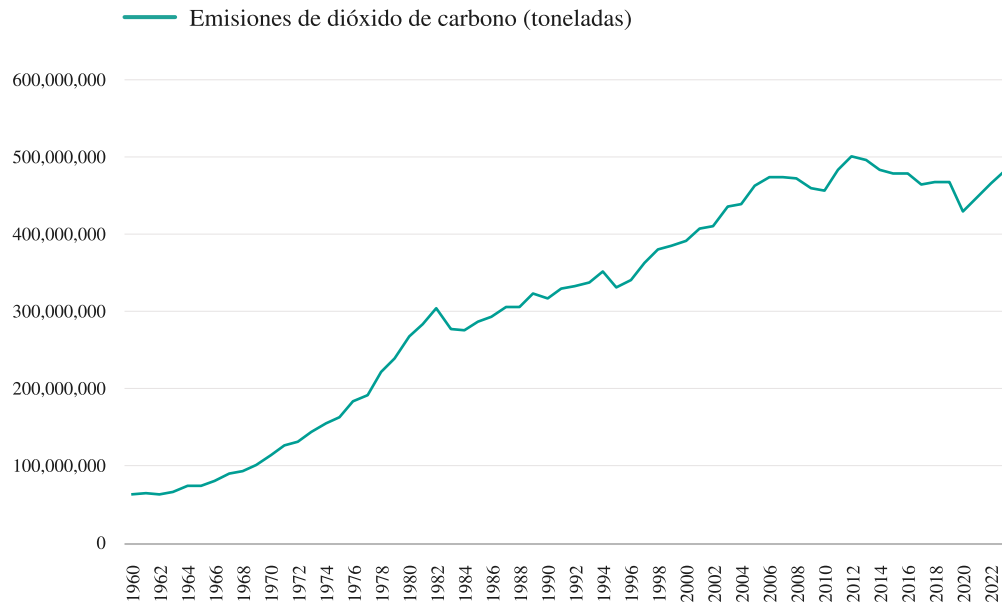
Para el periodo de 1960 a 2023, el resultado con el método de Tapio (ver Tabla 1) indica que no hubo desacoplamiento, sino un ‘acoplamiento expansivo’ (Tabla 2); es decir, tanto el Producto Interno Bruto (Gráfica 1) como las emisiones de dióxido de carbono (Gráfica 2) incrementaron, pero lo hicieron 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



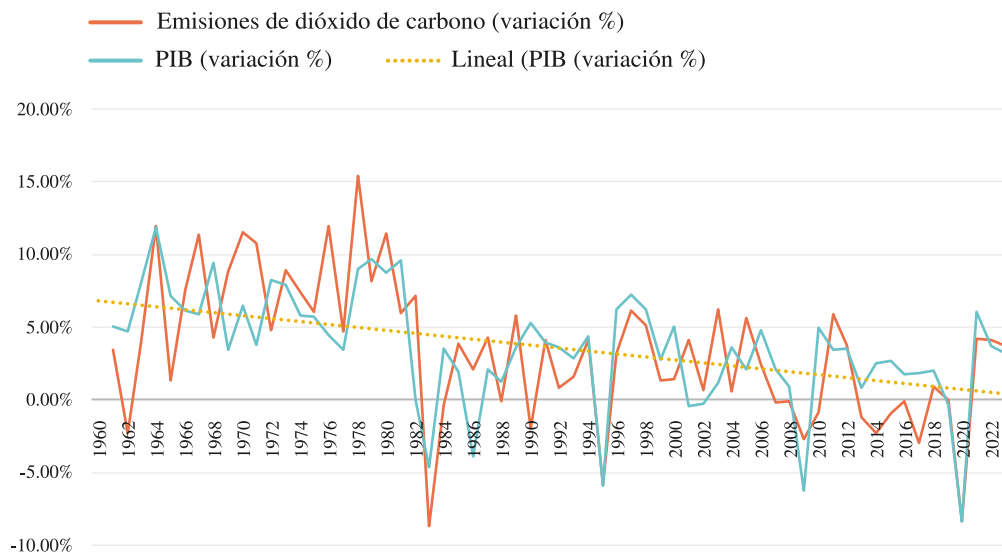
Fuente: elaboración propia con datos de Banco Mundial (2025a).

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

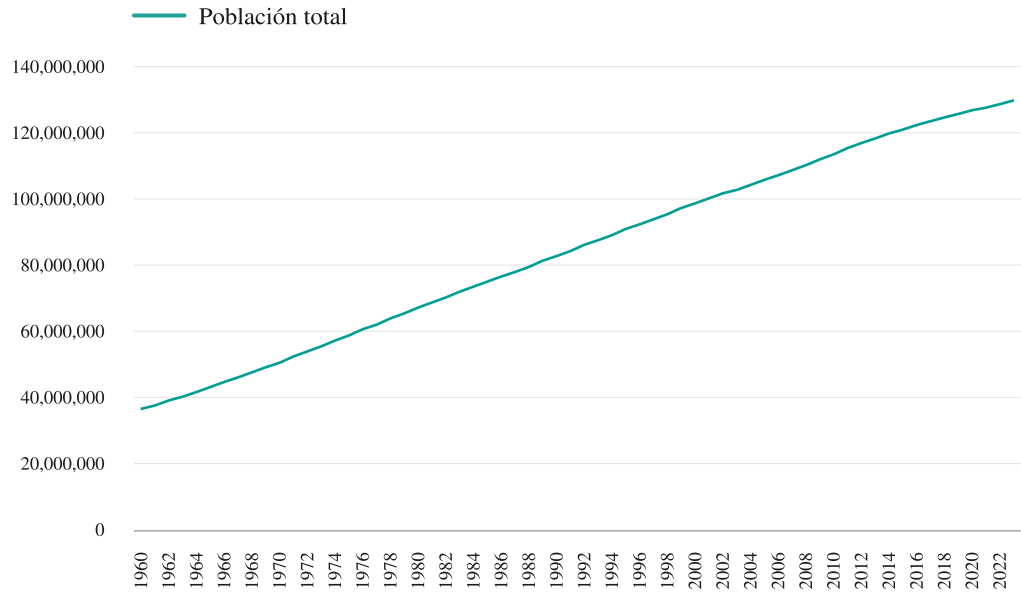
Fuente: elaboración propia.

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

Resultados de la Identidad de Kaya

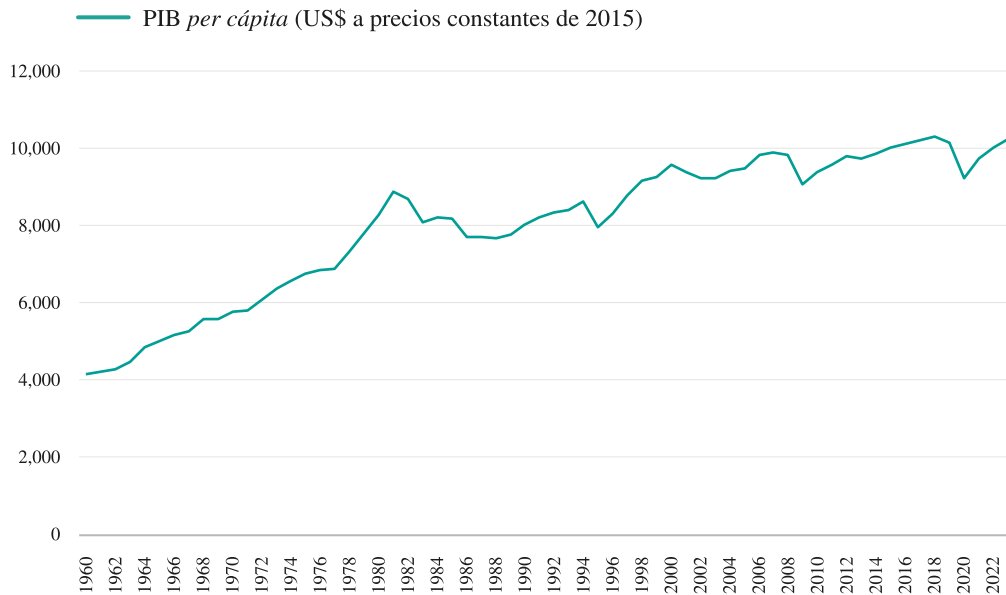
Para poder graficar la Identidad de Kaya, además de los datos de emisiones totales de dióxido de carbono (Gráfica 1) y de Producto Interno Bruto (Gráfica 2), fue necesario obtener los datos de población total de México (Gráfica 4), de Producto Interno Bruto *per cápita* (Gráfica 5) y de consumo de energía 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)



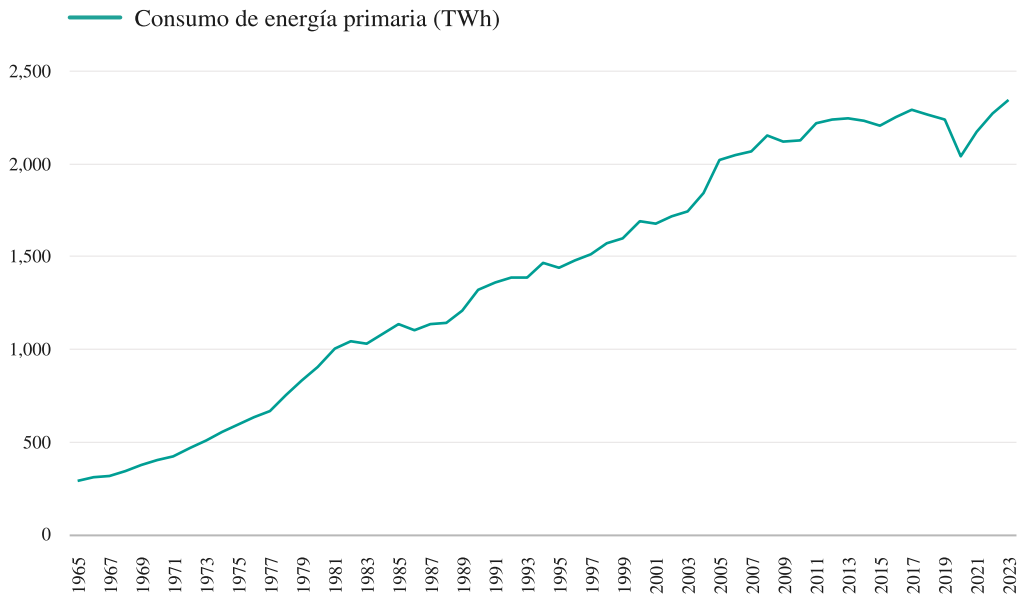
Fuente: elaboración propia con datos de Banco Mundial (2025b).

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).

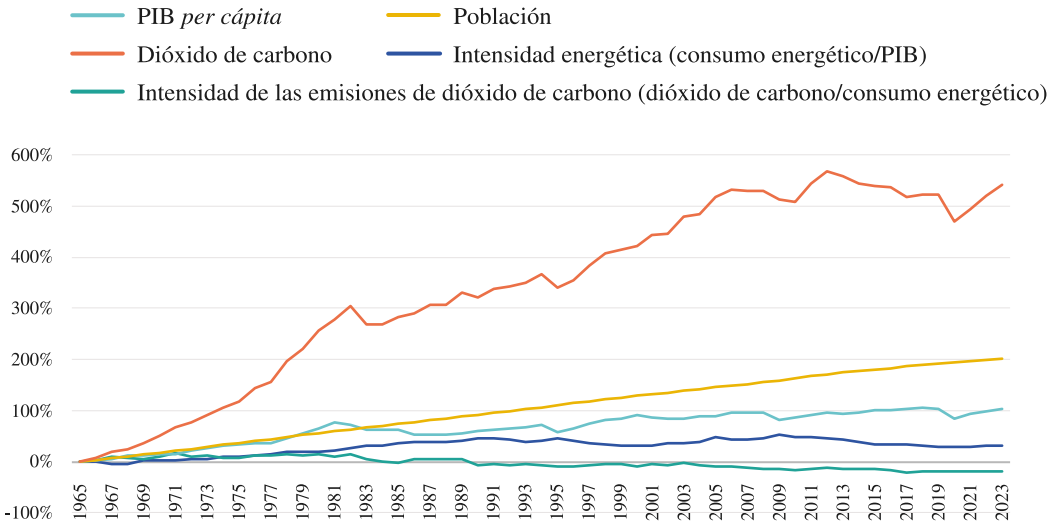
Gráfica 6
Consumo de energía primaria* en México, expresado en TWh (1965-2023)



* 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.

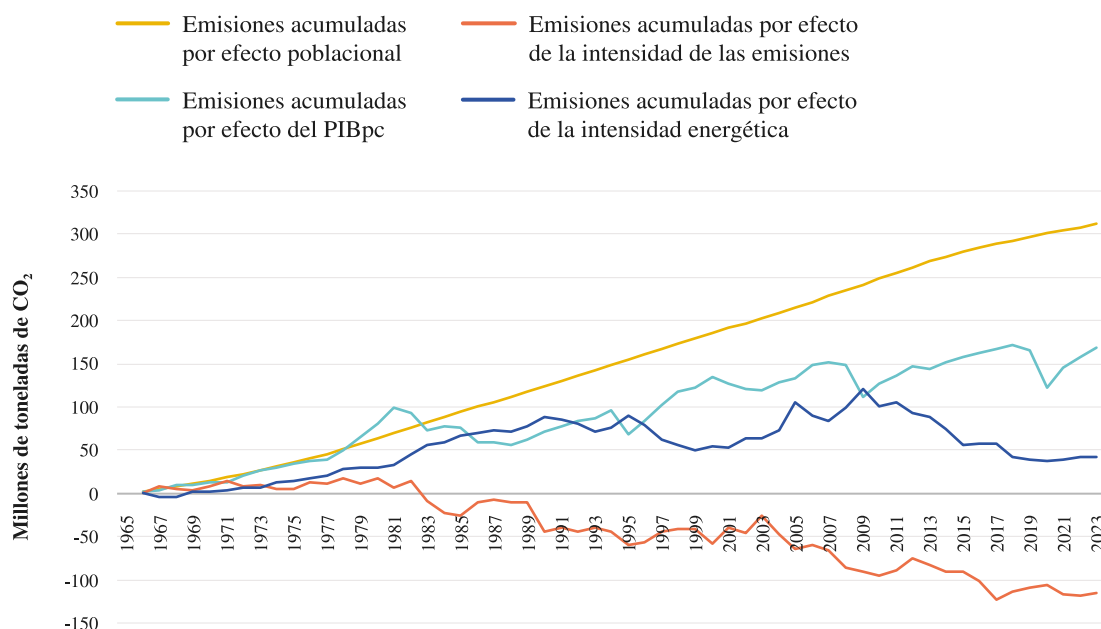
Fuente: elaboración propia.

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)*

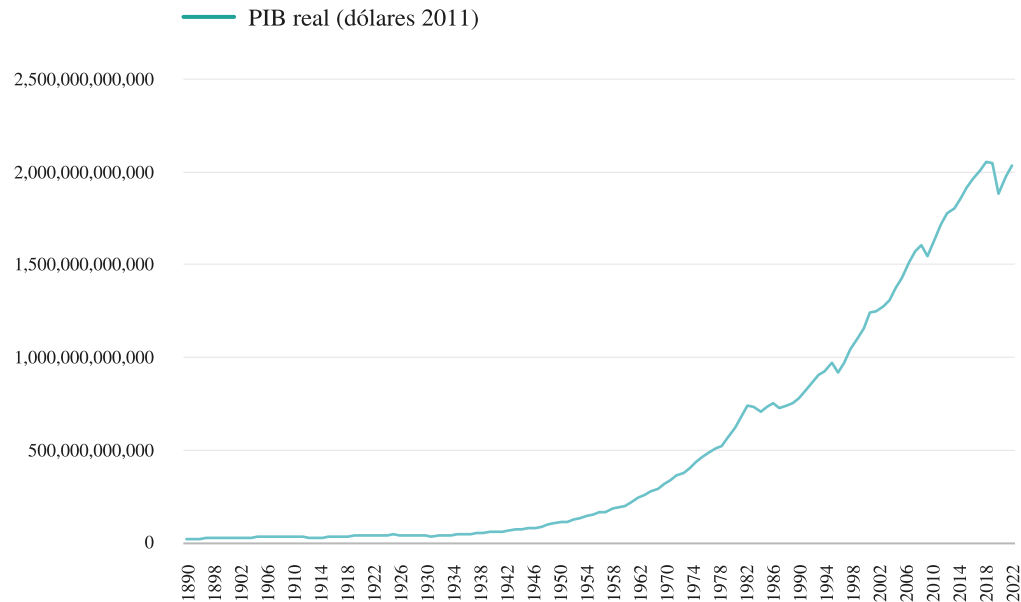
Resultados con el método de Tapio

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).

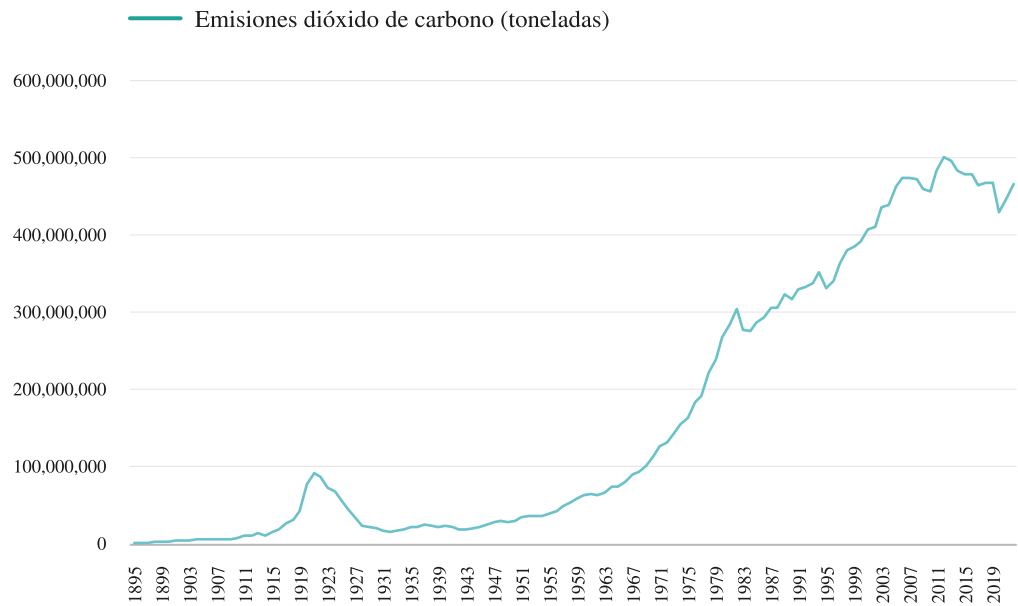
El PIB en 2022 fue 9,139% más grande que en 1895 y 11,056% más grande que en 1890 (Gráfica 4) y las emisiones de CO₂ en 2022 fueron 30,881% más grandes que en 1895 (Gráfica 5). Por lo que las emisiones anuales de dióxido de carbono son alrededor de 300 veces más grandes ahora que a fines del siglo XIX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

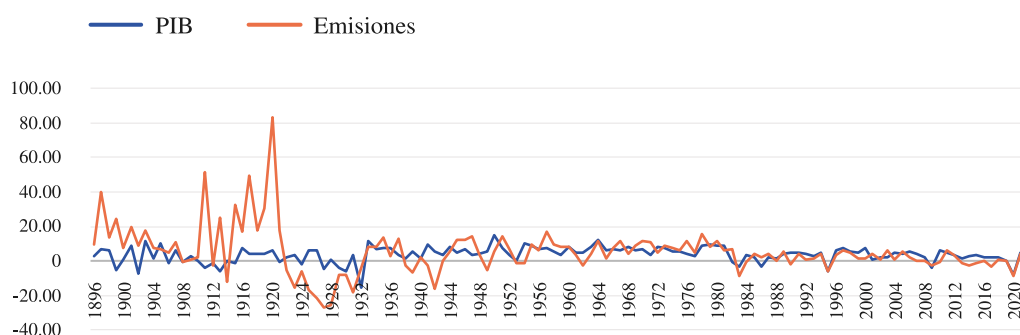
Años con desacoplamiento negativo expansivo	41
Años con desacoplamiento recesivo	7
Años con acoplamiento expansivo	15
Años con acoplamiento recesivo	1
Años con desacoplamiento débil	23
Años con desacoplamiento negativo débil	4
Años con desacoplamiento fuerte	26
Años con desacoplamiento negativo fuerte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



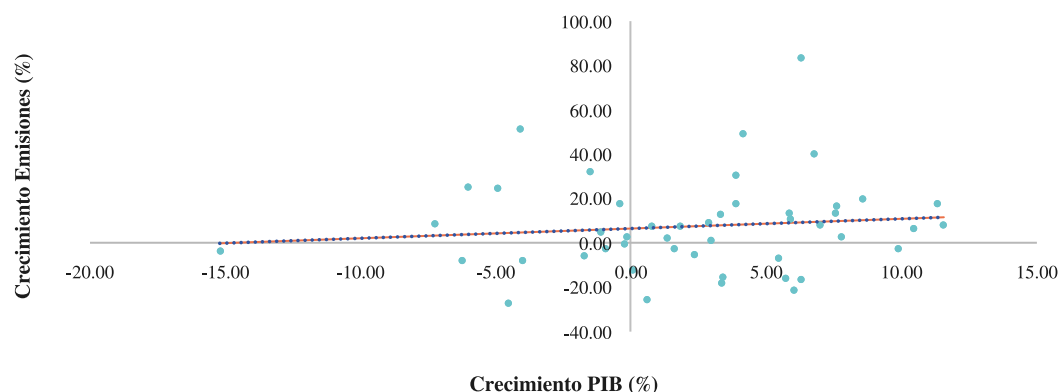
Fuente: elaboración propia.

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.

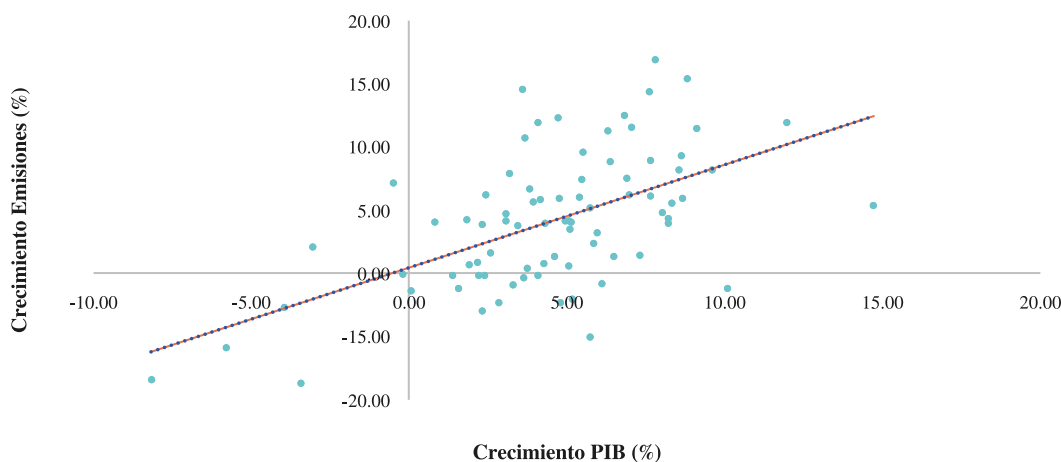
A continuación, se muestran las gráficas de dispersión de los periodos mencionados, donde podemos apreciar una ruptura estructural a partir de 1943. En la primera (Gráfica 12), se aprecia que la línea de tendencia tiene una menor inclinación, en comparación con la gráfica del periodo 1943-2022 (Gráfica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

Coeficiente	p value	Intervalo de confianza	
		Baja	Alta
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)

Rango	Estadístico	10%	5%	1%
r <= 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>
- Kouyakh, 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)

Análisis comparativo del capital humano en Nuevo León y Guerrero: un enfoque minceriano

Comparative analysis of human capital in Nuevo Leon and Guerrero: a mincerian approach

Brenda Aracely Ramírez-Barraza* y Enrique Ávila-Soler**

| *Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: barb@azc.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7007-8925> |

| **Instituto Tecnológico de Gustavo A Madero - Tecnológico Nacional de México |
| Correo electrónico: industrial014@gamadero.tecnm.mx | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-0925> |

RESUMEN

El objetivo de este estudio es estimar los retornos a la educación y la experiencia laboral en dos regiones con niveles contrastantes de desarrollo en México: Nuevo León y Guerrero. Para ello se emplea la ecuación de Mincer y la descomposición Oaxaca-Blinder con datos de la ENIGH 2022. Los resultados del modelo Mincer indican que, a nivel nacional, cada año adicional de educación incrementa el ingreso en 7.3%, en Guerrero, el retorno a la educación es del 10.2% y Nuevo León es de 7.32%. La descomposición Oaxaca-Blinder muestra que la principal fuente de disparidad salarial entre ambas entidades es el nivel educativo del jefe del hogar. En Guerrero, la educación presenta coeficientes negativos, reflejando un mercado laboral precario, mientras que en Nuevo León son positivos y significativos. Los resultados evidencian barreras estructurales que limitan los beneficios del capital humano en contextos de alta marginación.

ABSTRACT

The objective of this study is to estimate the returns to education and work experience in two regions of Mexico with contrasting levels of development: Nuevo Leon and Guerrero. To that end, the Mincer equation and the Oaxaca-Blinder decomposition are applied using data from the 2022 ENIGH. The Mincer model results indicate that, at the national level, each additional year of schooling increases household income by 7.3%. In Guerrero, the return to education reaches 10.2%, while in Nuevo Leon it stands at 7.32%. The Oaxaca-Blinder decomposition reveals that the primary source of wage disparity between the two states is the educational attainment of the household head. In Guerrero, the coefficients associated with education are negative, reflecting a precarious labor market, whereas in Nuevo Leon they are positive and statistically significant. These findings highlight the existence of structural barriers that limit the benefits of human capital in highly marginalized contexts.

Recibido: 17/febrero/2025
Aceptado: 16/julio/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Modelo minceriano |
| Desigualdad | Salario |
| Capital humano |
| Descomposición
Oaxaca-Blinder |

Keywords:

| Mincer model |
| Inequality | Salary |
| Human capital |
| Oaxaca-Blinder
decomposition |

Clasificación JEL |
JEL Classification |
O11, H74, C33

INTRODUCCIÓN

El capital humano ha sido durante décadas un pilar en la teoría económica y en la formulación de políticas públicas. Becker (1964) fue el precursor en el desarrollo la teoría del capital humano, la cual examina los determinantes de los ingresos y del bienestar a través de la acumulación de conocimientos y habilidades, destacando a la educación formal en las escuelas como un ejemplo de adquisición de habilidades.

Modelos tradicionales, como los desarrollados por Becker (1964) y Mincer (1974), han sido cruciales para comprender la importancia de invertir en



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

educación y formación, ya que esto genera incrementos en la productividad y, en última instancia, crecimiento económico. En particular, Mincer (1974) desarrolló la ecuación de salarios, en la cual la tasa salarial de un individuo está en función de los años de escolaridad y la experiencia. Investigaciones posteriores, como las de Card y Krueger (1992), Klenow y Rodríguez-Clare (1997), y Hall y Jones (1999), han ampliado y estimado este modelo en diversas economías, proporcionando evidencia empírica sobre la relación entre educación, experiencia y salarios.

Es importante, sin embargo, considerar los avances metodológicos que enriquecen la interpretación del modelo. En este sentido, Heckman *et al.* (2006) ofrecen una revisión exhaustiva de los supuestos fundamentales bajo los cuales la ecuación de Mincer está correctamente identificada, señalando que la estimación de los retornos a la educación puede verse afectada por problemas de endogeneidad, selección no aleatoria y heterogeneidad no observada; para abordar estas limitaciones, proponen el uso de variables instrumentales y modelos de efectos de tratamiento, los cuales permiten capturar de manera más precisa la relación causal entre educación e ingresos. Esta perspectiva metodológica respalda el uso de enfoques complementarios, como la descomposición Oaxaca-Blinder, especialmente en estudios que abordan desigualdades salariales.

Los modelos de capital humano también destacan las externalidades positivas que la educación genera para la sociedad. Uno de los hallazgos más recientes en la literatura es que la formación de capital humano, principalmente a través de mejoras en la educación, tiende a aumentar los salarios, por lo que, la calidad educativa, se ha identificado como una dimensión crítica del capital humano que impacta directamente en el crecimiento económico (Elías, 2004). En términos empíricos, el modelo de Mincer no solo conecta los ingresos laborales con la escolaridad y la experiencia, sino que también incorpora variables adicionales como el género, el sector de empleo y la raza, lo que permite una comprensión más precisa de las diferencias salariales y las dinámicas del mercado laboral. Este enfoque ha sido clave para el análisis de políticas educativas y laborales, pues cada año adicional de educación genera beneficios económicos, mejorando la competitividad de los individuos en el mercado laboral (Lassibille y Navarro-Gómez, 2012).

Varios estudios han seguido el marco teórico de Mincer para explorar el capital humano y la distribución de ingresos. Por ejemplo, López y Sarmiento (2019) analizaron la desigualdad de ingresos presente en el mercado laboral de Ecuador, emplearon la ecuación minceriana con variables *dummy* como género, zona e idioma; concluyen que se presenta discriminación salarial en el género femenino y en las personas que viven en zonas rurales. Silva *et al.* (2022) evaluaron los efectos de la educación sobre los ingresos de los residentes en Brasil, especialmente en las regiones Sur y Nordeste, utilizando la ecuación de ingresos de Mincer y el procedimiento de Heckman para corregir el sesgo de selección; obtuvieron que, las personas que contaban con 4 años de estudio presentaban un retorno salarial de 2,9%, mientras que quienes alcanzan 15 años de estudio logran un retorno de 33,2%. Además, Macas y Macas (2022) investigaron los determinantes del ingreso de los emprendedores en Ecuador en 2020; obtuvieron que aquellos que no habían terminado la primaria y secundaria, sus ingresos se incrementaban en 13 dólares por cada año de educación, y los que tenían más de 12 años se aumentaban en 23 dólares.

En México también se presentan estudios siguiendo este marco teórico, por ejemplo, Chávez y Sánchez (2008) analizaron los rendimientos de la educación en México y en la entidad de Guanajuato, utilizaron un modelo Mincer; encontraron que, a pesar de que las mujeres presentan en promedio un mayor nivel educativo que los hombres, estos últimos obtienen ingresos promedios más elevados, lo que indica que la brecha salarial por género en Guanajuato es más pronunciada que la nacional. Valdés *et al.* (2018) analizaron la incidencia entre la calidad educativa y el crecimiento económico en México; sus resultados muestran una relación positiva entre la calidad del capital humano y los niveles de crecimiento económico.

Osorio-Novela *et al.* (2021) analizaron los rendimientos del capital humano en microempresas de la frontera norte de México, centrándose en la escolaridad del microempresario responsable de la unidad de producción, emplearon datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo del año 2010 al 2019 y aplicaron modelos econométricos de corte transversal basados en la ecuación de Mincer, encontraron que la educación superior y de posgrado duplican sus rendimientos positivos. En un análisis más reciente, Kido y Andrade (2022) emplearon el modelo Mincer para examinar la brecha salarial por género en México; los resultados evidencian que existen diferencias salariales a favor de los hombres y que aproximadamente el 45% de esta desigualdad se atribuye a la discriminación.

A pesar de esta amplia literatura, persiste una brecha en el análisis comparativo entre regiones con niveles extremos de marginación. Este artículo se propone realizar una comparación de los efectos del capital humano sobre los ingresos en dos entidades federativas contrastantes: Nuevo León y Guerrero. Ambos estados presentan diferencias marcadas no solo en términos de marginación, sino también en composición económica, demográfica y del mercado laboral, lo que permite analizar cómo el contexto modula el valor del capital humano. Esta comparación permite evidenciar cómo los contextos estructurales influyen en la manera en que el capital humano se convierte en ingresos, y facilita el análisis del papel que juegan las desigualdades de género y las disparidades entre zonas urbanas y rurales en la determinación del ingreso laboral.

La pregunta principal que orienta esta investigación es: ¿cómo varía la magnitud de los retornos a la educación y la experiencia laboral en regiones con niveles opuestos de desarrollo? A partir de este enfoque, se proponen tres hipótesis centrales. La primera plantea que el capital humano, representado por la educación y la experiencia laboral, influye positivamente en los ingresos laborales en México; no obstante, la magnitud y la estabilidad de estos retornos varían en función del contexto regional. En estados con alta marginación como Guerrero, la escolaridad tiende a ser más fuertemente recompensada, mientras que la experiencia laboral muestra retornos menos predecibles. La segunda sostiene que entidades con alta marginación como Guerrero, la educación genera mayores retornos relativos que en estados desarrollados como Nuevo León, debido a su mayor capacidad de diferenciación en mercados laborales más restringidos. Finalmente, la tercera hipótesis sugiere que factores sociodemográficos como el género y la ubicación geográfica influyen de manera desigual en los ingresos, siendo estas disparidades más profundas en contextos de alta marginación como Guerrero.

Este artículo está dividido de la siguiente manera: en la introducción se presenta la revisión de literatura y el marco teórico relacionado con el modelo de Mincer. A continuación, está la base de datos y la metodología econométrica empleada; enseguida, se exponen y analizan los resultados empíricos obtenidos. Finalmente, se presentan las implicaciones de los hallazgos y se ofrecen conclusiones y recomendaciones de política.

I. METODOLOGÍA

Esta investigación utiliza un enfoque cuantitativo que combina el análisis de datos secundarios con la estimación de modelos econométricos. Se llevó a cabo un análisis descriptivo y exploratorio utilizando la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2022). Esta fuente ofrece información detallada sobre las características socioeconómicas de los hogares en México, como ingresos, gastos, educación y composición familiar.

El análisis incluyó la selección de variables clave, como ingresos, tamaño del hogar y nivel educativo, además de la identificación de patrones a nivel nacional y estatal del año 2022. Las entidades federativas de Nuevo León y Guerrero se eligieron debido a sus marcados contrastes en niveles de desarrollo socioeconómico. Según datos del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2021) Nuevo León presenta un bajo grado de marginación, mientras que Guerrero tiene el nivel más alto de marginación del país.

Posteriormente, se elaboraron tres modelos econométricos para analizar la relación entre las variables seleccionadas y los ingresos de los hogares. Uno abarcó el análisis nacional, mientras que los otros dos se centraron en las entidades federativas de Nuevo León y Guerrero, permitiendo contrastar los determinantes de los ingresos en contextos socioeconómicos diferentes.

Los modelos econométricos utilizados corresponden a una regresión lineal estimada mediante el método de máxima verosimilitud. La elección de este enfoque se fundamenta en su capacidad para generar estimadores consistentes y eficientes, incluso ante posibles problemas de heterocedasticidad y distribuciones no normales de los errores. A diferencia de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), el método de máxima verosimilitud optimiza la función de verosimilitud, ajustando los parámetros del modelo para maximizar la probabilidad de observar los datos disponibles, lo que garantiza una mayor precisión en las estimaciones.

La especificación del modelo se define sobre la base de una relación log-lineal del ingreso, lo que permite interpretar los coeficientes estimados como elasticidades; es decir, como cambios porcentuales en el ingreso ante variaciones en las variables explicativas.

Asumiendo que los errores siguen una distribución normal $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$, la función de máxima verosimilitud implementada en esta investigación se basa en una especificación de regresión lineal, en términos del logaritmo natural del salario ($\ln(w)$). La función de verosimilitud para cada observación se expresa de la siguiente forma:

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\ln(w) - (\beta_0 + \beta_1 \text{educa_jefe} + \beta_2 \text{exp} + \dots + \beta_6 \text{zona_urbana}))^2}{2\sigma^2}\right)$$

La transformación utilizada para la variable dependiente es el logaritmo natural del salario:

$$\ln(w) = \beta_0 + \beta_1 \text{educa_jefe} + \beta_2 \text{exp} + \beta_3 \text{exper2} + \beta_4 \text{jefe_hombre} + \beta_5 \text{tot_integ} + \beta_6 \text{zona_urbana} + \varepsilon$$

Donde:

- $\ln(w)$: es el logaritmo del salario, el cual incluye remuneraciones por trabajo subordinado, tales como sueldos, comisiones, aguinaldo, indemnizaciones del trabajo y remuneraciones en especie);
- educa_jefe : corresponde a la variable que mide los años de educación del jefe del hogar;
- exper : corresponde a la experiencia laboral, se calculó restando a la edad del jefe del hogar los años de educación y restarle 6, (edad promedio de inicio de la educación básica);
- exper2 : es la variable de experiencia laboral al cuadrado, se agregó para captar los efectos no lineales, como rendimientos decrecientes de la experiencia;
- jefe_hombre : es una variable *dummy* que representa el género del jefe del hogar, toma el valor de 1 si jefe del hogar es hombre y 0 si es mujer;
- tot_integ : indica el número total de personas integrantes del hogar;
- zona_urbana : es una variable *dummy* que toma el valor de 1 si el hogar reside en una zona urbana (localidades con más de 25,000 habitantes) y 0 si es rural.

Los coeficientes $\beta_1, \dots, \beta_6$ son los parámetros que se estiman para cada una de las variables y ε : es el término de error estocástico, que captura todos los factores no observados que afectan los ingresos, pero no están incluidos en el modelo.

La interpretación de los coeficientes en este modelo log-lineal implica que un cambio unitario en la variable explicativa se asocia con un cambio porcentual aproximado en el ingreso. El uso de la máxima verosimilitud permite estimar los coeficientes de manera consistente y robusta, tomando en cuenta posibles problemas de heterocedasticidad y distribuciones no normales en los errores. Este enfoque permite validar la significancia estadística de los coeficientes, asegurando que las estimaciones reflejen de manera precisa las relaciones entre las variables y el ingreso en la muestra estudiada.

Con el objetivo de enriquecer el análisis de desigualdades salariales entre Guerrero y Nuevo León, se utilizó la técnica de descomposición Oaxaca-Blinder. Esta técnica permite desagregar las diferencias salariales observadas en dos componentes: uno atribuible a diferencias en características observables de los individuos (educación, experiencia, entre otras variables) y otro a diferencias en los rendimientos de dichas características, lo cual puede interpretarse como evidencia de segmentación del mercado laboral o discriminación estructural (Blinder, 1973; Oaxaca, 1973).

La metodología parte del mismo modelo Minceriano y compara las estimaciones obtenidas para cada grupo (Guerrero y Nuevo León) de forma separada, lo cual permite cuantificar no sólo cuánto difieren los ingresos entre estados, sino también por qué difieren. Esta metodología permite separar la diferencia en el ingreso logarítmico promedio $\ln(w)$ entre estas dos entidades en tres componentes: diferencias atribuibles a las características (*endowments*), a los rendimientos (coeficientes) y a la interacción entre ambas. Se parte del modelo de regresión Minceriano anteriormente señalado.

El ingreso promedio se estima para dos grupos: Nuevo León y Guerrero. La diferencia promedio en el ingreso logarítmico entre los dos grupos se expresa como:

$$\Delta = E[\ln(w_1)] - E[\ln(w_2)]$$

Esta diferencia se descompone en tres componentes:

1. Diferencias en características (*Endowments*):

$$E = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \cdot \hat{\beta}_2$$

Este componente refleja cuánto de la brecha se debe a diferencias en las características observables promedio entre ambos grupos (educación, experiencia, tamaño del hogar, etc.).

2. Diferencias en coeficientes (Rendimientos):

$$C = \bar{X}_2 \cdot (\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2)$$

Capta la parte de la brecha explicada por diferencias en los retornos que el mercado otorga a las características observables.

3. Interacción entre características y coeficientes:

$$I = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \cdot (\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2)$$

Este término representa los efectos conjuntos de las diferencias en características y en rendimientos.

Donde: $\bar{X}_1$ y $\bar{X}_2$ son los vectores promedio de características para Nuevo León y Guerrero, respectivamente, $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$ son los vectores de coeficientes estimados para cada grupo.

Esta técnica complementa al modelo Minceriano tradicional al no sólo estimar los efectos promedio del capital humano, sino también al mostrar cómo estos efectos varían entre contextos socioeconómicos

diferenciados. De esta manera, se obtiene una visión más integral de la desigualdad en los ingresos. Para el análisis estadístico y econométrico se utilizó el software STATA 17, lo que permitió realizar estimaciones robustas, pruebas de significancia y descomposiciones con precisión técnica.

Estadísticos descriptivos para caracterizar la muestra

La muestra analizada está compuesta por 3,612 observaciones correspondientes a la entidad federativa de Nuevo León y 2,538 a la de Guerrero. A partir de estos datos, se describen a continuación algunas de las principales características sociodemográficas y económicas de los hogares incluidos en el estudio.

En cuanto a la edad del jefe del hogar, en ambas entidades federativas se observa una mayor concentración en el rango de 30 a 59 años. En Guerrero, el 39.83% de los jefes de hogar se ubican en los grupos de 40 a 59 años, mientras que en Nuevo León este grupo representa el 43.40% del total. Este patrón sugiere que la jefatura del hogar recae predominantemente en personas de mediana edad, dentro del grupo de población en edad económicamente activa.

Respecto al nivel educativo, los jefes de hogar en Nuevo León registran, en promedio, 9 años de escolaridad, frente a 7 años en Guerrero. En esta última entidad federativa, la mayor frecuencia (19.9%) se presenta a los 3 años de estudio, lo cual refleja un mayor rezago educativo. La experiencia laboral promedio es bastante similar en ambas entidades: 38 años en Nuevo León y 39 años en Guerrero.

También se aprecian diferencias en el tamaño de los hogares. En Nuevo León, la media general es de tres personas por hogar. En contraste, en Guerrero el tamaño promedio de los hogares asciende a cuatro integrantes, lo que sugiere estructuras familiares ligeramente más amplias.

En términos económicos, las diferencias son marcadas. El ingreso mensual promedio por trabajo en Nuevo León es de 42,711.4 pesos, cifra considerablemente superior a la registrada en Guerrero, donde el ingreso promedio alcanza los 17,330 pesos. Esta brecha refleja importantes desigualdades económicas entre ambas entidades federativas.

En relación con el sexo del jefe de hogar, en Nuevo León el 74.72% de los hogares están encabezados por hombres, frente al 66.4% en Guerrero. Finalmente, en cuanto al lugar de residencia, el 56.17% de los hogares en Nuevo León se localizan en zonas urbanas, mientras que en Guerrero la proporción es ligeramente menor, con un 52%.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos econométricos Mincer

Los resultados del modelo nacional sugieren que el análisis es altamente significativo en su conjunto, con un estadístico Wald χ^2 de 13,354.46 ($p < 0.001$). El valor del logaritmo de la verosimilitud (-28,987.93) indica una buena calidad de ajuste del modelo. La probabilidad asociada ($\text{Prob} > \chi^2 = 0.0000$) sugiere que las variables incluidas en el modelo explican de manera significativa las variaciones en el ingreso del hogar.

Los resultados para Nuevo León y para Guerrero indican que ambos modelos son estadísticamente significativos. Esto se refleja en los valores del estadístico Wald χ^2 , que fueron de 825.32 para Nuevo León y 496.22 para Guerrero, ambos con una probabilidad asociada ($\text{Prob} > \chi^2$) de 0.000. Adicionalmente, los logaritmos de verosimilitud registrados fueron de -764.06115 para Nuevo León y -1079.8337 para Guerrero, lo que refuerza la robustez estadística de los modelos. Los resultados de los parámetros de los modelos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Resultados del modelo minceriano sobre el logaritmo del salario del jefe de hogar

<i>Variable</i>	<i>Nacional</i>		<i>Nuevo León</i>		<i>Guerrero</i>	
	<i>Coefficiente</i>	<i>P-Valor</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>P-Valor</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>P-Valor</i>
Educación (<i>educ</i>)	0.0731*	0.000	0.0732*	0.000	0.1023*	0.000
Experiencia (<i>exper</i>)	0.0096*	0.000	0.0073*	0.030	0.0124	0.054
Experiencia cuadrática (<i>exper2</i>)	-0.0001*	0.000	-0.0001*	0.015	-0.00002	0.841
Jefe hombre (<i>jefe_hombre</i>)	0.1174*	0.000	0.0758*	0.038	0.2322*	0.001
Integrantes del hogar (<i>tot_integ</i>)	0.1106*	0.000	0.1400*	0.000	0.0726*	0.000
Urbano (<i>urbano</i>)	0.3392*	0.000	0.3190*	0.000	0.7943*	0.000
Constante	8.7692*	0.000	9.0620*	0.000	7.5060*	0.000
Los coeficientes con asterisco () son estadísticamente significativos al nivel del 95% (p-valor < 0.05).						

Fuente: elaboración propia con datos de la ENIGH (2022).

Los resultados presentados en el Cuadro 1 indican que el total de las variables incluidas en el modelo Nacional y en Nuevo León son estadísticamente significativas ($P > z = 0$) al nivel del 95%. En el modelo de Guerrero, solo dos variables no fueron significativas al 95%: la variable experiencia, que alcanza significancia solo al 90% de confianza, y su término cuadrático, el cual no presenta evidencia estadística de relevancia.

Los principales resultados de los parámetros son:

Educación

A nivel nacional, por cada año adicional de educación, el ingreso del hogar se incrementa en 7.3%, lo que confirma el efecto directo y positivo de la educación en el bienestar económico.

En Nuevo León, el incremento es del 7.32%, una cifra cercana al promedio nacional. Esto puede deberse a que, en esta entidad federativa cuenta con los menores niveles de marginación del país, la estructura del mercado laboral recompensa la educación de manera consistente, con amplias oportunidades para empleos formales y bien remunerados.

Por otro lado, en Guerrero, cada año adicional de educación incrementa el ingreso del hogar en un 10.23%, superando el promedio nacional. Este efecto más alto podría explicarse por las condiciones de alta marginación que presenta, donde los niveles de escolaridad son más bajos en general, y cada año adicional de educación se convierte en una ventaja significativa para acceder a mejores ingresos en un entorno más competitivo y con menor diversificación laboral.

Los resultados obtenidos se alinean con la teoría del capital humano, la cual sostiene que la educación aumenta la productividad de los trabajadores al mejorar sus habilidades y competencias, lo que se traduce en salarios más altos (Schultz, 1961). Estudios recientes también corroboran que, en países de ingresos medios como México, el retorno a la educación sigue siendo positivo y significativo (Psacharopoulos y Patrinos, 2018). Además, el Informe de Educación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2020) destaca cómo el nivel educativo se asocia estrechamente con mayores oportunidades de empleo y salarios en América Latina.

Experiencia laboral

A nivel Nacional, cada año de experiencia incrementa el ingreso en 0.96% por cada año de experiencia, con rendimientos decrecientes, refleja el modelo de Mincer (1974), donde la experiencia inicial aporta más al salario que los años posteriores. Este hallazgo se alinea con estudios que encuentran rendimientos decrecientes en la relación entre experiencia y salario debido al agotamiento progresivo de habilidades específicas en algunos sectores (Heckman *et al.*, 2006).

En el caso de Nuevo León, el incremento asociado a cada año de experiencia es del 0.73%. Este menor efecto podría estar relacionado con un mercado laboral más desarrollado y diversificado, donde factores adicionales como la educación formal o la ocupación tienen mayor peso en la determinación del ingreso. Por el contrario, en Guerrero, cada año de experiencia incrementa el ingreso en un 1.2%. Este mayor impacto podría reflejar una mayor dependencia de la experiencia como factor clave para acceder a mejores oportunidades laborales en contextos con menor acceso a educación y recursos económicos.

Género del jefe del hogar

En México, los hogares con jefe de familia hombre perciben, en promedio, un 11.7% más de ingresos en comparación con aquellos liderados por una mujer. En la entidad federativa de Nuevo León, esta diferencia es del 7.6%, mientras que en Guerrero representa 23.3%.

Esto se podría explicar por el sesgo de género en el mercado laboral; es decir, las mujeres tienden a ganar menos que los hombres por el mismo trabajo o roles similares. También se puede deber a otras variables no incluidas directamente en el modelo como el número de horas de trabajo y la empresa o industria de trabajo.

Este hallazgo es apoyado por el trabajo de Blau y Kahn (2017), quienes indican que las mujeres suelen enfrentarse a barreras estructurales en el acceso a puestos de mayor remuneración y a la segregación ocupacional. En el contexto mexicano coincide con los hallazgos de Kido y Andrade (2022), quienes señalan que coexisten diferencias salariales por sexo a favor de los hombres y que estas desigualdades se vinculan con la discriminación. Esto apunta a la persistencia de barreras estructurales por género en el mercado laboral. Legorreta (2024) indica que las consecuencias económicas por razones de desigualdad laboral y precarización han sido una constante en la vida de las mujeres, pues las han condenado a vivir en constante desaliento y vulnerabilidad.

Tamaño del hogar

En México, un aumento de una unidad en el total de integrantes del hogar se asocia con un incremento del 11.05% en el ingreso total del hogar. Este resultado sugiere que la contribución conjunta de varios miembros al ingreso familiar desempeña un papel relevante, posiblemente debido a la diversificación de fuentes de ingreso dentro del hogar, como salarios, remesas o actividades económicas informales.

En Nuevo León, donde los niveles de marginación son los más bajos del país, el incremento es del 14%. Esto podría estar relacionado con un mercado laboral más desarrollado, donde cada miembro adicional del hogar tiene mayores probabilidades de acceder a empleos formales o mejor remunerados, maximizando su contribución económica.

Por otro lado, en Guerrero, con altos niveles de marginación, el aumento es del 7.3%, menor al promedio nacional. Este resultado podría reflejar las limitaciones del mercado laboral local, caracterizado por una mayor informalidad y menores oportunidades, lo que reduce el impacto positivo de un mayor número de integrantes en el ingreso total del hogar.

Ubicación

A nivel nacional, los hogares ubicados en zonas urbanas perciben, en promedio, un 33.9% más de ingresos que aquellos en áreas rurales. En Nuevo León esta diferencia es del 31.9%, mientras que en Guerrero la brecha entre los ingresos urbanos y rurales es aún mayor, alcanzando el 79.4%. Esta diferencia en ingresos entre hogares urbanos y rurales sugiere una disparidad importante en el acceso a oportunidades laborales entre ambos contextos.

De acuerdo con Suárez *et al.* (2012) las características del espacio geográfico desempeñan un papel clave al explicar la variación de la desigualdad en el territorio nacional, en función del desarrollo humano y la urbanización.

En las zonas rurales, los ingresos siguen siendo significativamente más bajos, debido a la dependencia de actividades como la agricultura y la ganadería, que generalmente están menos industrializadas y son menos rentables. Según Boltvinik (2023) las brechas de pobreza son más pronunciadas en las zonas rurales, donde las condiciones de vida y el acceso a servicios básicos son más limitados.

Los resultados del análisis confirman el impacto positivo de la educación, la experiencia laboral, el género masculino del jefe de hogar, el tamaño del hogar y la ubicación urbana en el ingreso del hogar, en línea con la literatura sobre capital humano y desigualdad socioeconómica. Estos factores destacan la importancia de políticas públicas que promuevan la equidad de género en el mercado laboral y el acceso igualitario a la educación y oportunidades laborales en áreas rurales, para reducir las disparidades de ingreso en el país.

Descomposición Oaxaca-Blinder

Los resultados del Cuadro 2 muestran los coeficientes estimados para las variables independientes en modelos separados para Guerrero y Nuevo León, así como la diferencia entre ambos, lo cual permite identificar factores estructurales que explican las brechas en ingresos entre ambas entidades.

Cuadro 2
Resultados de la descomposición Oaxaca-Blinder del logaritmo del salario del jefe de hogar:
comparación entre Guerrero y Nuevo León

Variable	Guerrero		Nuevo León		Diferencia	
	Coeficiente	P-Valor	Coeficiente	P-Valor	Coeficiente	P-Valor
Educación (<i>educ</i>)	-0.0772*	0.000	0.3223*	0.001	-0.0321*	0.003
Experiencia (<i>exper</i>)	0.0049	0.312	0.1672	0.506	0.0029	0.568
Experiencia cuadrática (<i>exper2</i>)	-0.0089	0.137	0.1314	0.317	0.0069	0.384
Jefe hombre (<i>jefe_hombre</i>)	-0.0053	0.056	0.1176*	0.046	-0.0106	0.064
Integrantes del hogar (<i>tot_integ</i>)	0.0398*	0.000	-0.2539*	0.000	-0.0195*	0.003
Urbano (<i>urbano</i>)	-0.0024	0.628	0.2765*	0.000	-0.0035	0.629
Constante	-1.6031*	0.000	-1.6031*	0.000	-1.6031*	0.000
Los coeficientes con asterisco () son estadísticamente significativos al nivel del 95% (p-valor < 0.05).						

Fuente: elaboración propia con datos de la ENIGH (2022).

Educación

La educación del jefe del hogar tiene efectos opuestos en cada entidad. En Guerrero, el coeficiente es negativo (-0.0772), lo cual sugiere que en esta entidad los ingresos no se incrementan con mayores niveles educativos del jefe del hogar, posiblemente por el bajo retorno del capital humano en mercados laborales poco estructurados o altamente informales. En cambio, en Nuevo León, el coeficiente es positivo y significativo (0.322), lo cual refleja un alto retorno a la educación en un entorno con mejores oportunidades laborales. La diferencia entre ambas entidades es también estadísticamente significativa, indicando que las disparidades regionales en el valor del capital humano son un componente clave de la desigualdad de ingresos.

Experiencia y experiencia cuadrática

En ambos estados, las variables relacionadas con la experiencia laboral no son estadísticamente significativas.

Género del jefe del hogar

En Guerrero, el ser jefe hombre no es estadísticamente significativo, mientras que en Nuevo León sí lo es (0.1176; $p = 0.046$). La diferencia entre ambos no es significativa al 95%, aunque el valor p cercano al umbral ($p = 0.064$) sugiere posibles efectos latentes.

Tamaño del hogar

En Guerrero, un integrante adicional del hogar incrementa el ingreso del hogar (0.0398; $p < 0.01$), mientras que en Nuevo León el efecto es negativo (-0.2539; $p < 0.01$). La diferencia entre ambos es estadísticamente significativa ($p = 0.003$). Esto sugiere que en Guerrero los hogares funcionan como unidades productivas en donde más miembros pueden aportar al ingreso (posiblemente en actividades informales), mientras que en Nuevo León el efecto puede reflejar una sobrecarga de dependencia económica en los hogares más numerosos.

Zona urbana

En Nuevo León, vivir en zona urbana tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre el ingreso (0.2765; $p < 0.01$), mientras que en Guerrero el coeficiente no es significativo. Esto refuerza la idea de que, en estados más desarrollados, como Nuevo León, las zonas urbanas ofrecen mayores oportunidades económicas, mientras que en Guerrero no hay una diferencia sistemática en ingresos entre zonas urbanas y rurales.

Los resultados obtenidos permiten evaluar de manera integral las hipótesis planteadas en esta investigación. En relación con la primera hipótesis, se confirma que la educación y la experiencia laboral inciden de forma positiva sobre los ingresos del hogar; no obstante, la magnitud y estabilidad de estos efectos varían entre contextos regionales. La educación muestra un retorno más elevado en Guerrero que en Nuevo León bajo el modelo Minceriano, aunque este efecto se atenúa al considerar los rendimientos diferenciados mediante la descomposición Oaxaca-Blinder, lo que sugiere que los mercados laborales en regiones marginadas no siempre valoran de igual forma el capital humano. En cuanto a la segunda hipótesis, los hallazgos no respaldan completamente la idea de que en contextos de alta marginación como Guerrero la educación genera mayores retornos relativos; por el contrario, la evidencia muestra que, en mercados laborales más estructurados, como el de Nuevo León, los beneficios económicos de la educación son más consistentes y significativos. Finalmente, respecto a la tercera hipótesis, se observan diferencias claras en el efecto del género del jefe del hogar y la ubicación geográfica sobre los ingresos. Estas disparidades tienden a ser más pronunciadas en regiones marginadas, lo que evidencia la persistencia de desigualdades estructurales, asociadas tanto al entorno territorial, como a la condición sociodemográfica de los hogares. En conjunto, los hallazgos refuerzan la necesidad de considerar las características regionales y sociales al analizar la distribución del ingreso y diseñar intervenciones que atiendan las brechas estructurales del país.

CONCLUSIONES

Este estudio, con la implementación del modelo Minceriano, permite observar que el ingreso de los hogares se asocia de manera significativa con las variables educación, experiencia laboral, género del jefe de hogar, tamaño del hogar y la ubicación geográfica. En particular, se encuentra una correlación positiva entre la educación y los ingresos, lo que resalta la importancia de fomentar políticas públicas que prioricen la inversión en capital humano. Este resultado es consistente con investigaciones previas que mencionan el papel de la educación como un punto clave en la reducción de la pobreza extrema por ingresos (Ricárdez y Robles, 2024). Por otro lado, la experiencia laboral también presenta una relación positiva.

En cuanto al género del jefe del hogar, el análisis pone de manifiesto una persistente desigualdad de género, ya que los hogares liderados por mujeres reciben ingresos significativamente menores en comparación con aquellos encabezados por hombres, lo cual podría estar relacionado con barreras estructurales aún vigentes en el mercado laboral.

Respecto a la ubicación geográfica, se observa una clara disparidad entre zonas rurales y urbanas: los hogares que se encuentran en áreas urbanas concentran mayores oportunidades económicas y, por ende, generan ingresos más altos en comparación con las zonas rurales. Esto sugiere la necesidad de reducir las brechas regionales por medio de estrategias integrales que promuevan el desarrollo económico en zonas rurales.

En lo referente a la descomposición Oaxaca-Blinder, los resultados permiten identificar componentes que explican la disparidad salarial entre Guerrero y Nuevo León. La variable con mayor peso diferencial es la educación del jefe del hogar, cuyos retornos presentan diferencias marcadas entre las dos entidades. En Guerrero, la educación presenta un bajo e incluso nulo retorno, lo que podría reflejar las limitaciones estructurales del mercado laboral local, caracterizado por altas tasas de informalidad y escasas oportunidades que premien la acumulación de capital humano. En contraste, en Nuevo León, la educación muestra un retorno positivo y significativo, consistente con un entorno laboral más formal, estructurado y con mayor demanda de habilidades.

La experiencia laboral, incluyendo su forma cuadrática, no resulta significativa en ninguno de los dos estados, lo cual sugiere que el ingreso no se relaciona de manera lineal con el tiempo trabajado, sino que puede estar más influido por el tipo de ocupación o la calidad del empleo, factores no capturados directamente por las variables utilizadas.

Respecto al tamaño del hogar, en Guerrero se observa asociación positiva: hogares más grandes tienden a tener mayores ingresos, posiblemente por la incorporación de más miembros al trabajo, sobre todo en el sector informal. En Nuevo León, el efecto es negativo, lo que puede interpretarse como una mayor carga económica en hogares con más integrantes, especialmente si estos no contribuyen al ingreso.

En relación con la ubicación geográfica, vivir en una zona urbana tiene un efecto significativo y positivo en Nuevo León, lo cual sugiere que estas áreas concentran mayores oportunidades económicas. En Guerrero, este efecto no es estadísticamente significativo, lo que indica una menor diferenciación entre áreas urbanas y rurales en cuanto al acceso a ingresos.

Estos hallazgos reflejan que, a diferencia del modelo de Mincer, que analiza los determinantes salariales dentro de un solo grupo, la descomposición Oaxaca-Blinder permite descomponer la brecha salarial promedio en sus tres componentes: (i) diferencias en características (*endowments*), (ii) diferencias en los retornos a esas características (coeficientes), y (iii) efectos conjuntos (interacción). En este estudio, se encuentra que la mayor parte de la brecha salarial entre Guerrero y Nuevo León se debe a diferencias en los coeficientes; es decir, a la manera en que las mismas características (como educación o ubicación) son valoradas diferencialmente en los mercados laborales de cada entidad.

Este estudio proporciona evidencia estadística sobre cómo las características socioeconómicas y demográficas se relacionan con los ingresos de los hogares, subrayando la importancia de investigaciones futuras que examinen con mayor detalle los mecanismos que perpetúan las desigualdades de género y regionales. En particular, los resultados revelan que los niveles de marginación "Muy alto" y "Muy bajo" influyen de manera diferenciada en el comportamiento de las variables analizadas, reflejando una marcada disparidad en las oportunidades económicas y sociales entre regiones. Al comparar estos niveles con el promedio nacional, se observa que los hogares en regiones de marginación "Muy alta" enfrentan mayores barreras para mejorar sus ingresos, mientras que aquellos en regiones de marginación "Muy baja" gozan de ventajas estructurales que amplían la brecha socioeconómica. Este hallazgo subraya la necesidad de políticas públicas focalizadas que reduzcan estas disparidades y promuevan un desarrollo más equitativo en el país. Específicamente resulta relevante implementar intervenciones en el ámbito educativo y en el desarrollo de infraestructura en zonas rurales ya que pueden ser pieza clave para contribuir a reducir la desigualdad de ingresos y por ende mejorar el bienestar económico.

REFERENCIAS

- Becker, G. (1964). *Human Capital*. Chicago IL: University of Chicago Press. (Traducción Castellana), Alianza Universidad textos, Madrid, 1985).
- Blau, F. y Kahn, L. (2017). The Gender Wage Gap: Extent, Trends, and Explanations. *Journal of Economic Literature*, 55(3), 789–865. <https://doi.org/10.1257/jel.20160995>
- Blinder, A. (1973). Wage Discrimination: Reduced Form and Structural Estimates. *The Journal of Human Resources*, 8(4), 436–455. <https://doi.org/10.2307/144855>
- Boltvinik, J. (2023). *Brechas de pobreza rural en México Magnitud: evolución reciente y distribución territorial*, Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/26-LC/MEX/TS.2023/3). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e7bb0ba7-8715-4564-9751-9e76731347d3/content>
- Card, D. y Krueger, A. (1992). Does School Quality Matter? Returns to Education and the Characteristics of Public Schools in the United States. *The Journal of Political Economy*, 100(1), 1–40. <https://doi.org/10.1086/261805>
- Chávez, J. y Sánchez, O. (2008). Rentabilidad de la Educación en México y en el Estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 18(1), 27–32. <https://doi.org/10.15174/au.2008.154>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2021). *Índices de Marginación 2020. Índices de Marginación por Entidad Federativa*. Consejo Nacional de Población (CONAPO). <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- Elías, S. (2004). Capital humano, calidad educativa y crecimiento económico. *Estudios Económicos*, 21(42). <https://doi.org/10.52292/j.estudecon.2004.862>
- Hall, R. y Jones, C. (1999). Why Do Some Countries Produce so Much More Output Per Worker than Others? *NBER Working Paper*, w6564. <https://ssrn.com/abstract=226297>
- Heckman, J, Lochner, L. y Todd, P. (2006). Chapter 7 Earnings Functions, Rates of Return and Treatment Effects: The Mincer Equation and Beyond. In E. Hanushek & F. Welch (Eds.), *Handbook of the Economics of Education* (Vol. 1, pp. 307–458). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0692\(06\)01007-5](https://doi.org/10.1016/S1574-0692(06)01007-5)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>

- Kido, A. y Andrade, D. (2022). El modelo Mincer y la brecha salarial por género en México. *DICERE*, (1), 86–97. <https://doi.org/10.35830/dc.vi1.7>
- Klenow, P. y Rodríguez-Clare, A. (1997). The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far? *NBER Macroeconomics Annual*, 12, 73–103. <https://doi.org/10.1086/654324>
- Lassibille, G. y Navarro-Gómez, M. (2012). Un compendio de investigaciones en economía de la educación. *Presupuesto y Gasto Público*, (67), 9–28. https://www.ief.es/docs/destacados/publicaciones/revistas/pgp/67_01.pdf
- Legorreta, B. (2024). Igualdad constitucional vs. desigualdad laboral por razones de género como causa de la precarización de las mujeres en México. *Ius Comitiālis*, 7(13), 217–231. <https://iuscomitalis.uaemex.mx/article/view/24132/17902>
- López, J. y Sarmiento, G. (2019). Determinants of the wage gap in Ecuador: analysis under a minceriano model related to dummy aggregate variables. *Espirales. Revista Multidisciplinaria de Investigación Científica*, 3(27), 1–5. <https://doi.org/10.31876/er.v3i29.591>
- Macas, G. y Macas, G. (2022). Educación y su incidencia en los emprendedores del Ecuador. *Res non verba, revista científica*, 12(1), 74–89. <https://doi.org/10.21855/resnonverba.v12i1.629>
- Mincer, J. (1974). *Schooling, experience, and earnings*. Columbia University Press.
- Oaxaca, R. (1973). Male-Female Wage Differentials in Urban Labor Markets. *International Economic Review*, 14(3), 693–709. <https://doi.org/10.2307/2525981>
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *Education at a Glance 2020: OECD Indicators*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/69096873-en>
- Osorio-Novela, G., Martínez-Sidón, G. y Saavedra-Leyva, R. (2021). Rendimientos del capital humano en las microempresas de la frontera norte de México. *Frontera Norte*, 33, 1–27. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2115>
- Psacharopoulos, G. y Patrinos, H. (2018). Returns to investment in education: a decennial review of the global literature. *Education Economics*, 26(5), 445–458. <https://doi.org/10.1080/09645292.2018.1484426>
- Ricárdez, O. y Robles, D. (2024). The characteristics of education and its effect on poverty: an analysis for Mexico. *Análisis Económico*, 39(101), 165–179. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/desh/ae/2024v39n101/Ricardez>
- Schultz, T. (1961). Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, 51(1), 1–17. <https://la.utexas.edu/users/hcleaver/330T/350kPEESchultzInvestmentHumanCapital.pdf>
- Silva, T., Bondezan, K. y Lucas, M. (2022). Retornos para educação no Brasil: enfoque nas regiões Sul e Nordeste para o ano de 2017. *Interações (Campo Grande)*, 67–83. <https://doi.org/10.20435/inter.v23i1.3052>
- Suárez, M., Ruiz, N. y Delgado, J. (2012). Desigualdad, desarrollo humano y la consolidación urbano-regional en México. *EURE (Santiago)*, 38(115), 73–93. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612012000300004>
- Valdés, S., Ocegueda, J. y Romero, A. (2018). La calidad de la educación y su relación con los niveles de crecimiento económico en México. *Economía y Desarrollo*, 159(1), 61–79. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842018000100005&lng=es&tlng=es

| ARTÍCULOS DE REVISIÓN |

Economía circular para la contratación pública de bienes y servicios: una metodología alternativa para el sector salud mexicano

Circular economy for public procurement of goods and services: an alternative methodology for the Mexican health sector

Hugo Alberto Tapia González*

| ***Universidad Autónoma de Occidente | Correo electrónico: 23140018@uade.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8801-144X> |

RESUMEN

La economía circular (EC) representa una transformación estructural que puede comenzar con las decisiones de compra de instituciones públicas y escalar hacia cambios económicos nacionales. Este artículo propone un protocolo metodológico innovador para que las instituciones públicas del sector salud diagnostiquen, analicen y adapten sus procesos de contratación de bienes y servicios hacia modelos de EC. El modelo combina diagnóstico documental, análisis organizacional y evaluación multi-actor para facilitar la transición hacia prácticas circulares en instituciones públicas de salud. El desarrollo metodológico se contextualiza en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) Quintana Roo como caso representativo, sin presentar resultados de aplicación práctica. Los resultados consisten en la validación teórica del protocolo, sugiriendo su coherencia interna y potencial adaptabilidad contextual. La principal aportación es una propuesta metodológica teóricamente validada que establece bases conceptuales para futuras investigaciones sobre implementación de EC en contratación pública del sector salud.

ABSTRACT

The circular economy (CE) represents a structural transformation that can begin with the purchasing decisions of public institutions and scale toward national economic changes. This article proposes an innovative methodological protocol for public health sector institutions to diagnose, analyze, and adapt their procurement processes for goods and services toward CE models. The model combines documentary diagnosis, organizational analysis, and multi-actor evaluation to facilitate the transition toward circular practices in public health institutions. The methodological development is contextualized in the Mexican Social Security Institute (IMSS) Quintana Roo as a representative case, without presenting practical application results. The results consist of the theoretical validation of the protocol, suggesting its internal coherence and potential contextual adaptability. The main contribution is a theoretically validated methodological proposal that establishes conceptual foundations for future research on CE implementation in public procurement in the health sector.

Recibido: 16/julio/2025
Aceptado: 04/septiembre/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Economía circular |
| Contratación pública |
| Sector salud | Metodología |
| Bienes y servicios |

Keywords:

| Circular economy |
| Public procurement |
| Health sector | Methodology |
| Goods and services |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

Q57, H57, I18



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

INTRODUCCIÓN

La transición hacia una economía circular (EC) es uno de los grandes retos del siglo XXI, especialmente para las instituciones públicas que manejan recursos de gran escala. Según Camilleri *et al.* (2022), la EC se presenta como un modelo de producción más limpio, que busca minimizar las externalidades negativas de los procesos productivos y se aparta de forma decisiva del modelo lineal tradicional basado en la lógica de “tomar, hacer, consumir y desechar”.

Esta transformación cobra una importancia particular en el ámbito de la contratación pública, donde el poder adquisitivo del Estado puede impulsar cambios estructurales en favor de la sostenibilidad. No obstante, en México existe una brecha considerable entre este potencial y las prácticas actualmente implementadas. El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), que concentra el 36.5% de todos los contratos del gobierno federal y es el principal proveedor de servicios médicos en México (IMSS, 2024), es un ejemplo claro de esta situación. Según Tapia y Olmos (2025), en el IMSS Quintana Roo, el 95.29% de las contrataciones de bienes y servicios se hacen basándose únicamente en el precio más bajo, sin tomar en cuenta criterios de sostenibilidad o EC.

Este enfoque tan limitado en las compras no solo afecta el desempeño ambiental del IMSS, también reduce su capacidad para influir en las prácticas de sus proveedores y en el mercado local. La EC, más allá de sus beneficios inmediatos, implica un cambio de fondo que puede empezar desde algo tan puntual como una decisión de compra institucional y escalar hacia transformaciones económicas mucho más amplias. Este efecto en cadena cobra especial importancia en instituciones del sector salud como el IMSS, que, por su capacidad de compra y su presencia en todo el país, pueden impactar directamente en cadenas de suministro completas.

Esta investigación se enfoca específicamente en los procesos de contratación de bienes y servicios del sector salud público, abarcando el espectro de adquisiciones que realizan las instituciones de salud según las siguientes categorías: medicamentos, material de curación, laboratorio y radiológico; mobiliario y equipo; otros bienes; servicios médicos y de salud; servicios de mantenimiento y conservación; y otros servicios. Aunque el desarrollo metodológico se contextualiza en el sector salud mexicano, su diseño modular incorpora principios de adaptabilidad que podrían facilitar futuras adaptaciones contextuales, aspecto que constituye una línea de investigación posterior.

Plantear una estrategia en esta dirección va más allá del caso específico que se analiza aquí y abre la puerta a reflexiones más amplias. Desde lo teórico, este estudio ofrece claves útiles para entender cómo se puede analizar la EC dentro del sector público. Además, propone herramientas que cada institución puede ajustar según sus propias condiciones. Como mencionan McLennan y Krebs Schleemann (2021), la contratación pública representa entre el 8 % y el 25 % del Producto Interno Bruto (PIB) en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Esta cifra deja claro lo importante que es contar con metodologías sólidas que permitan revisar y repensar estos procesos desde una visión institucional más amplia.

Además, este estudio permite ver cómo ha cambiado la manera de entender la EC. Actualmente, se le considera un enfoque más amplio y sistémico, lo que exige métodos que estén a la altura de esa complejidad. Kirchherr *et al.* (2023) revisaron de forma sistemática 221 definiciones del término, y sus hallazgos reflejan claramente esta evolución en la forma de concebirlo. Por su parte, Al-Sinan y Bubshait (2022) han desarrollado modelos que buscan incorporar principios circulares en las compras del sector público. Sin embargo, un estudio realizado por Zijp *et al.* (2022) mostró que solo una de cada tres iniciativas de compras circulares en los Países Bajos logró obtener resultados positivos. Esto pone en evidencia que aún se necesitan metodologías más robustas y mejor adaptadas a las condiciones reales.

Con este panorama, se vuelve fundamental contar con enfoques metodológicos bien diseñados, que puedan ajustarse a distintos tipos de instituciones públicas del sector salud y les permitan entender y planear su transición hacia modelos de contratación más circulares. Eso es justo lo que propone este artículo: una metodología nueva que permite a las instituciones públicas del sector salud construir sus propios modelos de contratación con criterios de circularidad. Aunque la propuesta se contextualiza con el caso del IMSS Quintana Roo, está desarrollada para poder adaptarse a otros contextos.

El problema central radica en la falta de marcos metodológicos integrales que permitan a las instituciones públicas analizar e implementar la EC en sus procesos de contratación, sobre todo en el contexto mexicano. La mayoría de los estudios existentes se centran en Europa y no necesariamente responden a las particularidades normativas, culturales o institucionales de otras regiones (Berg *et al.*, 2022; Castiella y Schaefer, 2023; Hunka *et al.*, 2023; McLennan y Krebs Schleemann, 2021; Zijp *et al.*, 2022).

La propuesta metodológica busca ofrecer herramientas concretas para que las instituciones del sector salud puedan construir modelos de EC que sean viables y estén contextualizados. Esta propuesta teórica se estructura en torno a dimensiones de análisis organizadas en componentes principales: las características del diseño metodológico (comprehensividad, fundamentación teórica, adaptabilidad contextual y viabilidad metodológica) y los criterios de validación teórica para el diseño de prácticas circulares.

La premisa teórica que sustenta esta propuesta sugiere que una metodología integral que combine análisis documental, diagnóstico organizacional y evaluación multi-actor podría proporcionar a las instituciones públicas de salud un marco potencialmente más robusto y comprehensivo para diseñar e implementar modelos de transición hacia la EC, con el potencial de superar las limitaciones identificadas en los enfoques unidimensionales reportados en la literatura especializada. En línea con esto, el objetivo es diseñar y validar teóricamente una metodología innovadora que permita a las instituciones públicas del sector salud desarrollar sus propios marcos de análisis para implementar EC en sus procesos de contratación, reconociendo que esta validación es de carácter teórico preliminar sin confirmación empírica práctica.

Los objetivos específicos son: (1) diseñar un protocolo metodológico integral que combine diagnóstico documental, análisis organizacional y evaluación multi-actor para los procesos de contratación de bienes y servicios en el sector salud; y (2) validar teóricamente la coherencia interna y viabilidad metodológica de la propuesta desarrollada para su potencial aplicación en instituciones de salud pública.

Para alcanzar estos objetivos, el artículo se organiza en cinco secciones. Luego de esta introducción, se expone el marco teórico que sustenta el estudio, seguido del diseño metodológico, donde se detallan las técnicas, instrumentos y criterios de validez utilizados. Posteriormente, se discuten las implicaciones metodológicas y los resultados esperados, y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones clave.

I. MARCO TEÓRICO

Fundamentos de la economía circular

Entender con claridad qué implica la EC es un punto de partida fundamental para cualquier investigación que busque abordar este tema con profundidad. Gihring *et al.* (2023) señalan que las bases de este enfoque tienen raíces antiguas, y se remontan a Kenneth E. Boulding, quien ya en 1966 describía al planeta como una “nave espacial”. Con esa metáfora, Boulding transmitía la idea de que habitamos un mundo con recursos limitados, que opera como un sistema cerrado y que, por lo mismo, requiere de un proceso constante de regeneración para mantenerse en equilibrio.

Con el tiempo, esta visión se fue desarrollando a partir de diferentes corrientes de pensamiento. Kirchherr *et al.* (2023) destacan que la EC actual combina conceptos de varias disciplinas: diseño regenerativo, economía del rendimiento, cradle to cradle, ecología industrial, biomímesis, economía azul y capitalismo natural. Cada una aporta su mirada, pero todas coinciden en un punto clave: es urgente cambiar a fondo la manera en que producimos y consumimos.

Para poner esta visión en práctica, se suele usar como base la definición de la Fundación Ellen MacArthur, citada por Maksymiv *et al.* (2021). Desde esta perspectiva, la EC se plantea como un sistema pensado desde su origen para regenerar y restaurar. Es decir, diseñar productos y servicios que reduzcan residuos y contaminación desde el inicio y ayuden a recuperar ecosistemas. Kirchherr *et al.* (2017, citados en Mishulina, 2023), amplían esta visión al proponer modelos de negocio enfocados en reducir, reutilizar, reciclar y recuperar materiales. Con esto, se supera la antigua idea de que los productos simplemente “terminan su vida útil”.

Para estructurar bien cualquier metodología de investigación, es clave entender cómo han evolucionado los principios de la EC. Uvarova *et al.* (2023) describen una evolución que va desde el modelo 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar) hacia otros más amplios: 4R, 6R, 10R e incluso 60R. Esta expansión refleja una comprensión más profunda de la circularidad y, a la vez, la necesidad de herramientas metodológicas que respondan a esa creciente complejidad.

Contratación pública sostenible y circular

Pasar de una contratación pública con lógica lineal a modelos circulares no es tarea fácil. Requiere un cambio profundo y metodologías complejas. Castiella y Schaefer (2023) describen esta transformación en varias etapas: empieza en los años noventa con una incipiente conciencia ambiental, continúa con la aparición de la “compra verde” a finales de esa década y luego avanza hacia la contratación pública sostenible en la década de 2010.

La contratación pública circular, más reciente, va un paso más allá. No solo integra principios sostenibles, sino que los aplica de forma estructural en todo el proceso de compra. La Comisión Europea, citada por Al-Sinan y Bubshait (2022), la define como la adquisición de bienes, servicios u obras con la intención de cerrar ciclos de energía y materiales, minimizando o evitando impactos negativos sobre el ambiente y la generación de residuos a lo largo del ciclo de vida de los productos.

Uno de los cambios más relevantes se da en los criterios de evaluación. Godlewska y Godlewski (2024) explican que, mientras antes se priorizaban aspectos como el precio o el tiempo de entrega, los enfoques circulares incluyen también el impacto ambiental (como eficiencia energética), económico (por ejemplo, reparaciones extendidas) y social (como la inclusión laboral). Esto requiere herramientas que analicen múltiples dimensiones de forma coherente y estructurada.

Modelos de economía circular en la contratación pública

Poner en marcha los principios de la EC en la contratación pública ha generado diversos marcos conceptuales. Uno de los más citados es el modelo *ProBiz4CE* de Witjes y Lozano, citado por Vanacore *et al.* (2023). Este propone pasar de negociar productos a negociar sistemas producto-servicio. Con ello, se cambia la lógica del precio unitario por una que valora el servicio prestado, incorporando la circularidad desde tres frentes: incluir criterios sociales y ambientales junto a los económicos, fomentar modelos sostenibles en las empresas proveedoras y promover relaciones más colaborativas entre compradores y proveedores.

A esto se suma el modelo de Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022), que describe cuatro niveles de avance: desde mejoras en la calidad de los productos hasta inversiones sistémicas que impulsan un entorno económico más circular. Desde una perspectiva más global, la OCDE ha propuesto cinco modelos de negocio que pueden apoyar la EC en compras públicas (Al-Sinan y Bubshait, 2022): suministro circular, recuperación de recursos, extensión de la vida útil, economía colaborativa y producto como servicio. Cada uno plantea una manera distinta de aplicar la circularidad según el contexto.

Una propuesta innovadora es la de Vanacore *et al.* (2023), que introduce la figura del intermediario como un actor clave para facilitar la transición. Este puente entre el sector público y privado cumple funciones como coordinar actores, fortalecer la cooperación industrial y ayudar a definir mejor las necesidades del comprador.

La diversidad de estos marcos muestra cuán flexibles pueden ser los principios de la EC. Para instituciones como el IMSS, esto no solo abre distintas rutas de implementación, sino que también ofrece herramientas valiosas para investigaciones que usen enfoques mixtos, combinando revisión documental, trabajo en campo y análisis de los actores involucrados.

Implementación en el sector público: barreras y facilitadores

Estudiar cómo se adoptan prácticas circulares en el sector público no es sencillo; implica enfrentar retos metodológicos importantes. Como destacan Klein *et al.* (2022), el gasto público representa, en promedio, un 12 % del PIB en los países de la OCDE. Esta cifra subraya lo crucial que es entender bien cómo se diseñan y aplican estas políticas. Ese dato muestra su enorme potencial transformador, aunque para que se concrete, hay que superar obstáculos clave.

Uno de los principales es la falta de conocimiento y experiencia, como indican Vimal *et al.* (2023). A esto se suma la resistencia institucional al cambio, que Abdelmeguid *et al.* (2024) definen como una dificultad para transformar la cultura organizacional. También influyen las restricciones financieras y los altos costos iniciales, como apuntan Försterling *et al.* (2023).

Pero también hay factores que pueden facilitar el cambio. Uno de ellos es el liderazgo. Wihler *et al.* (2024) proponen un liderazgo “responsable polimático”, que combina habilidades técnicas, éticas, humanas y sostenibles. Otro elemento clave es la colaboración entre sectores. Vanacore *et al.* (2023) destacan el modelo de hélice quintuple, que articula esfuerzos entre academia, industria, gobierno, sociedad civil y la naturaleza misma.

Marco normativo mexicano

El marco legal mexicano tiene sus particularidades, que influyen directamente en cómo deben diseñarse las metodologías para estudiar la contratación pública circular. La base constitucional está en el artículo 25, que asigna al Estado la responsabilidad de impulsar un desarrollo sustentable (Congreso de la Unión, 2024). El artículo 134, por su parte, establece que el uso de recursos públicos debe guiarse por eficiencia, eficacia, economía, transparencia y honradez.

Un paso importante fue la aprobación en el Senado del dictamen de la Ley General de Economía Circular en 2021, aunque aún está en proceso legislativo. Martínez *et al.* (2021) destacan que, aunque ya existen normas sobre gestión sustentable, falta una conexión clara entre ellas dentro de una visión común.

En cuanto a la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público (LAASSP), vigente a partir del 16 de abril de 2025, según el artículo 18 se establece que los procedimientos deben ser “efectuados con responsabilidad social y de manera sostenible”, introduciendo un sistema de evaluación por puntos y porcentajes que otorga puntuación adicional a empresas con trabajadores con discapacidad, MIPYMEs (micro, pequeñas y medianas empresas), cooperativas, empresas con políticas de igualdad de género certificadas, integridad empresarial y certificados ambientales, además de exigir criterios específicos como papel con mínimo 50% de fibras recicladas (D.O.F., 2025). Sin embargo, Tapia y Olmos (2025) muestran que en el IMSS de Quintana Roo, el 95.29% de las contrataciones de bienes y servicios se hicieron solo con base en el precio más bajo. Esto refleja la distancia entre lo que dice la norma y lo que ocurre realmente.

II. METODOLOGÍA ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MODELOS CIRCULARES EN CONTRATACIÓN PÚBLICA DEL SECTOR SALUD MEXICANO

Antes de entrar en los detalles del diseño metodológico, es importante dejar claro que esta investigación se enfoca en la creación y validación teórica de una metodología para procesos de contratación de bienes y servicios. No se trata de aplicar la metodología en la práctica. El caso del IMSS Quintana Roo se toma como punto de referencia para desarrollar la propuesta metodológica, sirviendo como base para diseñar un protocolo que pueda adaptarse a otras instituciones similares dentro del sector salud público.

La EC, cuando se aplica a la contratación pública, es un fenómeno complejo y con muchas dimensiones. Por eso, entenderla bien requiere una metodología que capte tanto los datos medibles como las dinámicas más cualitativas que le dan forma. En respuesta a esta necesidad, este estudio opta por un enfoque mixto secuencial exploratorio, que permite combinar de forma ordenada datos cuantitativos y cualitativos. Esta integración busca ofrecer a las instituciones públicas una herramienta metodológica sólida para evaluar cómo está la EC en el contexto específico de la contratación de bienes y servicios en el sector salud en México.

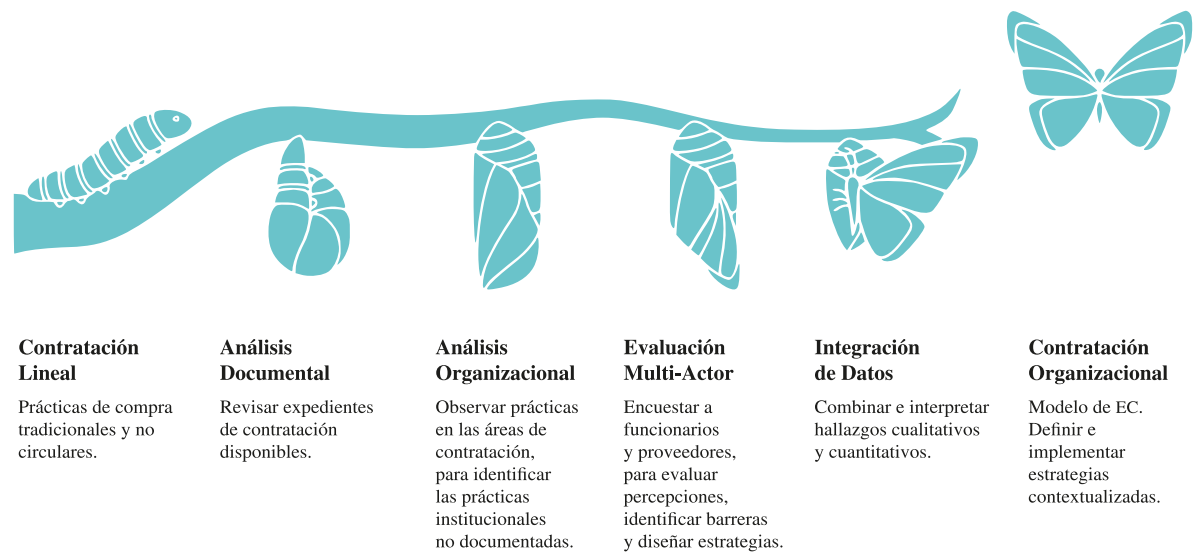
El diseño metodológico se apoya en tres bases teóricas que se complementan entre sí. Primero, los modelos de implementación gradual propuestos por Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022) sirven como base para construir un enfoque escalonado. Segundo, el marco basado en conocimiento desarrollado por Arshad y Rosca (2024) ayuda a integrar distintas perspectivas dentro de la contratación pública circular. Y tercero, el método de evaluación multinivel de Zijp *et al.* (2022) respalda la importancia de analizar tanto los niveles macro como micro dentro de las instituciones, lo que da coherencia a la mezcla de métodos aplicada en este estudio.

Sobre esta base, la arquitectura metodológica del estudio se basa directamente en los modelos teóricos identificados en el marco conceptual. En particular, se operacionaliza el modelo *ProBiz4CE*, que destaca la importancia de la colaboración entre contratantes y proveedores; el modelo de implementación progresiva, que respalda una lógica de diagnóstico, análisis y formulación de estrategias de forma escalonada; y el marco de intermediación, que sostiene la necesidad de capturar las dinámicas relacionales a través de la observación participante.

El enfoque propuesto se organiza en tres etapas: dos primeras fases cualitativas, seguida de una fase mixta (más cuantitativa). La secuencia se construye de manera que la fase inicial nutra y dé fundamento a las siguientes, en consonancia con el modelo de transición gradual descrito por los marcos teóricos de EC. Este orden responde a la premisa de que adoptar prácticas circulares requiere primero una comprensión profunda del contexto para luego avanzar hacia intervenciones estructuradas.

Metodológicamente, el estudio se plantea como una investigación de diseño metodológico, sin manipulación de variables, y se apoya en los principios del liderazgo responsable polimático expuestos por Wihler *et al.* (2024), los cuales subrayan la relevancia de comprender a fondo las dinámicas organizacionales antes de proponer cualquier cambio. En cuanto a su dimensión temporal, se sugiere un enfoque transversal con elementos longitudinales retrospectivos.

Figura 1
Metodología Alternativa para el diseño de Modelos Circulares
en Contratación Pública del Sector Salud



Fuente: elaboración propia.

La Figura 1 muestra la metodología alternativa desarrollada en esta investigación, pensada específicamente para que las instituciones del sector salud puedan construir modelos propios de contratación pública circular, ajustados a las particularidades de sus contextos. Esta metodología se organiza en tres fases secuenciales e interconectadas: Diagnóstico Documental, Análisis Organizacional y Evaluación Multi-actor que, a través de un proceso de integración sistemática, conducen al diseño de estrategias contextualizadas. Su estructura operacionaliza directamente el modelo de hélice quintuple propuesto por Vanacore *et al.* (2023), permitiendo que cada institución incorpore distintas perspectivas: la académica, como base conceptual; la industrial, desde la visión de los proveedores; la gubernamental, mediante la experiencia de los funcionarios; la social, a partir de su impacto en la ciudadanía; y la ambiental, desde los ecosistemas involucrados.

La representación de la metodología resalta su carácter progresivo e iterativo: los resultados obtenidos en cada fase no solo alimentan la etapa siguiente, sino que también pueden retroalimentar fases anteriores si emergen hallazgos nuevos. Esta capacidad de adaptación se sustenta en los principios del diseño de métodos mixtos de Creswell y Creswell (2023), que permiten ajustar el proceso a las capacidades y realidades particulares de cada institución sin perder el rigor metodológico necesario para generar estrategias sólidas y bien fundamentadas. Como indican Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022), avanzar hacia prácticas circulares requiere enfoques que reconozcan la diversidad institucional y que puedan adaptarse dinámicamente según el contexto, algo que este protocolo logra mediante su estructura flexible pero ordenada.

Para facilitar la comprensión de la arquitectura metodológica propuesta, resulta fundamental sistematizar las características distintivas de cada una de las tres técnicas que conforman el núcleo de esta metodología alternativa. La Tabla 1 presenta una síntesis comparativa que evidencia tanto la complementariedad como la especificidad de cada enfoque, permitiendo visualizar cómo se articulan para generar el efecto sinérgico que caracteriza a esta propuesta.

Tabla 1
Síntesis comparativa de técnicas e instrumentos de la Metodología Alternativa

<i>Aspecto</i>	<i>Diagnóstico Documental</i>	<i>Análisis Organizacional</i>	<i>Evaluación Multi-actor</i>
Naturaleza de datos	Cualitativos (expedientes de contratación).	Cualitativos (observación participante).	Mixtos (escalas Likert + preguntas abiertas).
Población/Universo	276 expedientes de contratación (agosto 2023 - julio 2024).	Departamento de Adquisiciones del IMSS Quintana Roo.	Funcionarios (≈25) y Proveedores (≈400).
Tipo de muestreo	Censo temporal completo del periodo especificado	Actividades relevantes durante 4 semanas mínimo.	Censo completo de ambas poblaciones.
Función	Determinar nivel actual de adopción de criterios EC.	Identificar desafíos y oportunidades contextuales.	Identificar desafíos y oportunidades contextuales. Definir estrategias y medidas integrales.
Instrumento principal	Matriz de análisis de expedientes con 7 dimensiones de EC.	Ficha de observación participante (8 secciones estructuradas).	Cuestionarios diferenciados: Funcionarios (48 ítems) y Proveedores (58 ítems).
Fuente de datos	Sistema Compras MX + Documentación Oficial del IMSS.	Observación directa en áreas de adquisiciones.	Plataforma digital (Google Forms).
Validación	Análisis manual + herramientas de IA para procesamiento de lenguaje natural.	Triangulación metodológica con marcos teóricos consolidados.	Panel de 10 expertos multidisciplinarios + Validación estadística.
Software de análisis	Claude IA (análisis cualitativo).	Taguette (codificación temática).	JASP (análisis estadístico) + Taguette.

Fuente: elaboración propia.

Componentes y dimensiones del protocolo metodológico

Un punto clave de esta propuesta metodológica es cómo se articulan sus distintos componentes y dimensiones, algo que está directamente conectado con los marcos teóricos sobre EC revisados previamente. La idea central es que una metodología integral —que combine diagnóstico documental, análisis organizacional y evaluación con múltiples actores— puede dar a las instituciones públicas del sector salud una mejor capacidad para diseñar e implementar sus propios modelos de transición hacia prácticas circulares. Esto representa una ventaja clara frente a los enfoques más simples o unidimensionales que se han documentado en la literatura.

Para respaldar esta idea desde el enfoque teórico, el diseño metodológico se organiza tomando como base las dimensiones de análisis de la propuesta, las cuales se agrupan en dos componentes principales:

Características de diseño de la metodología

Estructuradas en cuatro dimensiones analíticas:

1. *Comprehensividad*: se refiere a la capacidad para abordar múltiples dimensiones del fenómeno, apoyada en el modelo de hélice quintuple (Vanacore *et al.*, 2023). Esta se conceptualiza mediante la integración de las tres técnicas complementarias.
2. *Fundamentación teórica*: alude al grado de alineación con marcos conceptuales reconocidos, en respuesta a la necesidad de claridad conceptual señalada por Kirchherr *et al.* (2023). Se fundamenta mediante la inclusión explícita de modelos teóricos validados.
3. *Adaptabilidad contextual*: es decir, la capacidad para ajustarse a realidades institucionales específicas, según el modelo de implementación progresiva de Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022). Se conceptualiza a partir de la flexibilidad para adaptar los instrumentos metodológicos al contexto.
4. *Viabilidad práctica*: refiere a su factibilidad metodológica, considerando los recursos institucionales disponibles, en línea con las barreras documentadas por Försterling *et al.* (2023). Se analiza por la eficiencia en el uso del tiempo y los recursos.

Criterios de validación teórica de la metodología propuesta

Evaluados conceptualmente mediante tres indicadores:

1. *Validación de expertos*: consiste en una revisión sistemática por especialistas en EC, sostenibilidad y contratación pública, apoyada en el modelo de hélice quintuple (Vanacore *et al.*, 2023) y el marco de conocimiento de Arshad y Rosca (2024).
2. *Coherencia interna*: valora la articulación lógica entre los distintos componentes metodológicos, fundamentándose en el modelo de implementación progresiva de Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022) y el enfoque multinivel de Zijp *et al.* (2022).
3. *Aplicabilidad institucional*: estima la posibilidad de implementación en contextos futuros del sector salud público, con base en los factores identificados por Klein *et al.* (2022) y Al-Sinan y Bubshait (2022) sobre adopción de prácticas circulares.

Etapas del modelo propuesto

La metodología articula tres técnicas complementarias que abordan las dimensiones del fenómeno estudiado, cada una sustentada en marcos teóricos específicos del campo de la EC y la contratación pública.

Fase 1: Diagnóstico documental

Esta primera fase cualitativa se centra en el análisis sistemático de expedientes de contratación abarcando las siguientes categorías: (a) medicamentos, material de curación, laboratorio y radiológico; (b) mobiliario y equipo; (c) otros bienes; (d) servicios médicos y de salud; (e) servicios de mantenimiento y conservación; y (f) otros servicios, en sus tres modalidades Licitación Pública, Invitación a Cuando Menos Tres Personas y Adjudicación Directa, disponibles en la Plataforma Digital de Contrataciones Públicas de la Administración Pública Federal (Compras MX), apoyándose en el modelo de evaluación multinivel de Zijp *et al.* (2022), que ha probado ser útil para identificar patrones de implementación de prácticas circulares en documentos oficiales, relacionados con las adquisiciones de bienes y servicios del sector salud.

La propuesta incluye un censo temporal de expedientes de contratación llevados a cabo durante 12 meses, pensado para cubrir un año completo. Esto permite captar variaciones estacionales, patrones repetitivos y cambios progresivos que no serían visibles en periodos más cortos. Al adoptar esta mirada a largo plazo, se reducen los sesgos relacionados con el momento de la medición y se obtiene una visión más completa. Para organizar el análisis, se usa una matriz basada en siete dimensiones clave: eficiencia energética, uso de materiales reciclados, gestión de residuos, reducción de emisiones, certificaciones ambientales, sostenibilidad socioeconómica e implementación general de prácticas circulares. Estas dimensiones están respaldadas por distintos marcos teóricos y estudios recientes, incluyendo a Klein *et al.* (2022), Uvarova *et al.* (2023), Terra Dos Santos *et al.* (2023), Mishulina (2023), Godlewska y Godlewski (2024), y Walker *et al.* (2022). Además, esta metodología incorpora una innovación clave: la combinación del análisis humano con herramientas de procesamiento de lenguaje basadas en inteligencia artificial, en particular Claude IA, desarrollada por Anthropic. Esta tecnología es especialmente útil para revisar de forma sistemática los expedientes relacionados con la contratación pública. Al integrarla, se puede enfrentar uno de los grandes desafíos de estos procesos: manejar grandes volúmenes de documentos, algo muy común en las adquisiciones del sector gubernamental.

Gracias a Claude IA, es posible identificar y extraer criterios de sostenibilidad que, por lo general, están distribuidos en distintos puntos de documentos extensos, como las convocatorias de contratación, términos y condiciones y demás anexos técnicos. Esto incluye la identificación de menciones a prácticas circulares que podrían pasar desapercibidas en una revisión manual. La herramienta permite detectar estos elementos de forma más precisa y eficiente, lo que mejora notablemente el análisis. También facilita comparaciones entre distintos expedientes, ayudando a detectar patrones, inconsistencias o diferencias entre lo que se declara en las especificaciones y lo que finalmente se contrata. Esta combinación entre revisión humana e inteligencia artificial une lo mejor de ambos mundos: el entendimiento contextual y el conocimiento normativo que solo aporta una persona, con la capacidad de análisis sistemático y sin el desgaste que caracteriza a las herramientas automatizadas. De este modo, se responde a la necesidad señalada por De Oliveira y Oliveira (2023) de encontrar formas más ágiles de tratar grandes cantidades de información en estudios sobre EC.

Fase 2: Análisis organizacional

Apoyándose en el marco de intermediación de Vanacore *et al.* (2023), esta fase incorpora la observación participante como herramienta para captar los aspectos informales del fenómeno, involucrándose de forma directa en las áreas de adquisiciones. Esta técnica responde al llamado de Abdelmeguid *et al.* (2024), quienes subrayan la importancia de entender barreras culturales y organizacionales que no suelen quedar registradas en los documentos, pero que son clave para comprender cómo se implementan (o bloquean) las prácticas circulares en la realidad.

El trabajo de campo se estructura mediante una ficha semiestructurada con ocho secciones: descripción general del contexto y actividades observadas, prioridades y criterios de decisión identificados, oportunidades potenciales para EC, limitaciones y desafíos observados, actitudes y conocimientos de los participantes, recursos y capacidades institucionales relevantes, observaciones adicionales, y reflexiones e interpretaciones del observador. Esta estructura permite un registro sistemático que abarca desde la documentación descriptiva del entorno y procesos hasta la identificación específica de espacios de implementación circular y la captura de elementos emergentes no anticipados. El periodo mínimo de observación recomendado es de cuatro semanas, en línea con los principios de saturación teórica establecidos por Corbin y Strauss (2015) y aplicados por Klein *et al.* (2022).

Fase 3: Evaluación multi-actor

Esta fase en su mayoría cuantitativa se implementa mediante cuestionarios diferenciados para funcionarios y proveedores, que combinan preguntas cerradas con escalas tipo Likert y preguntas abiertas para captar matices cualitativos. Esta estructura responde directamente al modelo de colaboración multi-actor de Al-Sinan y Bubshait (2022) y al marco de conocimiento de Arshad y Rosca (2024).

La metodología emplea dos instrumentos específicamente diseñados para cada grupo objetivo. El cuestionario dirigido a funcionarios comprende 48 ítems distribuidos en seis secciones: perfil profesional, conocimiento sobre EC, evaluación de desafíos mediante escalas Likert de cinco puntos (abarcando barreras organizacionales, técnicas, económicas y regulatorias), identificación de oportunidades internas y externas, valoración de estrategias potenciales de implementación, y preguntas abiertas para recoger perspectivas adicionales. El instrumento para proveedores incluye 58 ítems organizados en siete secciones que abarcan caracterización empresarial, experiencia previa con prácticas circulares, percepción sobre barreras de implementación, capacidades actuales para adopción de estrategias circulares, evaluación de políticas públicas, estrategias potenciales para fomento de EC, y preguntas abiertas para sugerencias específicas.

El diseño muestral adopta criterios diferenciados según el grupo objetivo. Para funcionarios, se implementa un censo con hasta 25 funcionarios directivos y operativos involucrados en los procesos de contratación de bienes y servicios del IMSS Quintana Roo, específicamente del Departamento de Adquisición de Bienes y Contratación de Servicios, áreas técnicas y áreas requirentes. Para proveedores, se utiliza un censo completo que incluye la totalidad de empresas adjudicadas en procesos de adquisición de bienes y servicios del IMSS en Quintana Roo durante el periodo 2023-2024, abarcando sectores de productos farmacéuticos, material médico, equipamiento tecnológico, servicios médicos, de mantenimiento y servicios generales, entre otros. La población objetivo de 400 proveedores se determinó derivado de los resultados de la prueba piloto que reveló una tasa de respuesta del 11.11%, justificando la implementación del censo completo para garantizar datos suficientes para análisis estadísticos válidos.

La aplicación se plantea mediante cuestionarios autoadministrados en línea con tiempo estimado de cumplimentación de 10-15 minutos. La implementación contempla el uso de plataforma digital segura Google Forms, distribución vía correo electrónico con invitación formal, y periodo de recolección de tres a cuatro semanas con recordatorios semanales para optimizar la tasa de respuesta.

Validación de instrumentos

Validar los instrumentos es una parte clave del modelo metodológico. En la revisión documental, la validez de contenido se aseguró mediante el análisis exhaustivo de documentos oficiales representativos de los procesos de contratación de bienes y servicios. Para la ficha de observación participante, se combina la experiencia acumulada en investigaciones anteriores (Cortez, 2020; Murillo, 2017) con marcos teóricos ya consolidados (Dewalt, 2011; Patton, 2015; Jorgensen, 1989).

Para validar los cuestionarios, se siguió un proceso riguroso basado en el juicio de expertos, con criterios de selección bien definidos y una metodología sistemática. Los expertos fueron elegidos con base en cuatro criterios: (1) tener formación doctoral en áreas como EC, sostenibilidad, administración o ingeniería; (2) contar con experiencia en investigación, docencia o práctica en temas relacionados con EC, contratación pública o sostenibilidad; (3) estar afiliados a universidades reconocidas o instituciones públicas relevantes; y (4) asegurar diversidad de perfiles, para lograr una evaluación que reuniera tanto perspectivas académicas como experiencia práctica.

El panel estuvo integrado por 10 expertos seleccionados cuidadosamente para cubrir el conocimiento necesario. Ocho de ellos son académicos especializados en áreas clave, provenientes de instituciones como la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, la Universidad del Caribe, la Universidad Autónoma de Sinaloa, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y la Universidad Autónoma de Querétaro. Los otros dos miembros del panel trabajan directamente en contratación pública en el IMSS en Quintana Roo, con trayectorias de 4 y 20 años, respectivamente. Esta combinación de perfiles permitió una evaluación integral, equilibrando el enfoque teórico con la experiencia práctica en un entorno tan particular como el del sector salud.

Para la evaluación, se utilizó una rúbrica estructurada que contempló cuatro criterios clave: relevancia (si el ítem es esencial para el instrumento), coherencia (su relación lógica con la dimensión que busca medir), claridad (qué tan comprensible es en su redacción) y suficiencia (si los ítems cubren adecuadamente cada dimensión). Cada uno de estos aspectos se calificó en una escala de 1 a 4 puntos: 1 corresponde a que no cumple con el criterio, 2 a un cumplimiento bajo, 3 a un nivel moderado y 4 a un alto cumplimiento. Además, se dejó un espacio para que los evaluadores pudieran añadir comentarios y sugerencias específicas sobre cada ítem.

Los resultados agregados de la validación evidenciaron un alto nivel de consenso entre los evaluadores. Para ambos instrumentos el 100% de los expertos otorgó una calificación de "excelente" a la validez de contenido general, estructura y organización, y relevancia para los objetivos de investigación. En cuanto al dictamen final, 8 de los 10 expertos indicaron que los instrumentos podían aplicarse realizando pequeñas modificaciones que fueron incorporadas para optimizar la claridad conceptual y terminológica, mientras que 2 manifestaron que podían aplicarse sin modificaciones.

Las principales recomendaciones implementadas incluyeron: mejora en definiciones técnicas mediante la incorporación de ejemplos concretos, reformulación de preguntas abiertas para evitar respuestas dicotómicas, reducción estratégica del cuestionario para funcionarios de 52 a 48 ítems mediante consolidación temática, y fortalecimiento de dimensiones sobre responsabilidad social extendida en el cuestionario para proveedores. Este proceso de validación aseguró valores de confiabilidad con Alfa de Cronbach superiores a 0.8 en ambos instrumentos, confirmando su consistencia interna y validez de contenido.

Procesamiento, análisis e integración de resultados

El análisis de datos, acorde con el enfoque mixto de este estudio, se apoya en herramientas específicas para cada tipo de información. Para los datos cualitativos, se propone usar Taguette, un programa de código abierto pensado para facilitar la codificación temática. En cuanto a los datos cuantitativos, se plantea el uso de JASP, un software estadístico gratuito que permite hacer análisis avanzados sin necesidad de saber programar. Esta elección sigue las recomendaciones metodológicas de Creswell y Creswell (2023), lo que asegura una integración clara y sólida entre ambos tipos de datos.

La última etapa del análisis se centra en proponer estrategias ajustadas al contexto, basadas en lo que se encontró con ambas herramientas. Los códigos temáticos generados en Taguette se transforman en categorías de acción institucional, guiados por el modelo de intermediación de Vanacore *et al.* (2023) y la hélice quintuple. Al mismo tiempo, los resultados obtenidos con JASP se interpretan desde una perspectiva práctica, y no solo estadística, para evaluar qué tan viables serían esas acciones en la realidad, tomando en cuenta también las barreras señaladas por Vimal *et al.* (2023).

Después, se deben elaborar matrices de decisión que crucen los hallazgos con las capacidades institucionales, tomando en cuenta cuatro dimensiones fundamentales: si la acción es legalmente posible (viabilidad normativa), si se puede llevar a cabo con los recursos disponibles (factibilidad operativa), qué

impacto podría tener (impacto potencial) y qué tanta resistencia podría generar dentro de la organización (resistencia organizacional). Estas dimensiones están basadas en estudios de Klein *et al.* (2022), Abdelmeguid *et al.* (2024), Uvarova *et al.* (2023) y Evans y Britt (2023).

Por último, las estrategias se agrupan en tres horizontes de tiempo que hacen teóricamente operativa la propuesta de Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022): acciones inmediatas que no requieren cambios estructurales, intervenciones de mediano plazo que implican trabajo coordinado entre distintas áreas (Försterling *et al.*, 2023), y transformaciones a largo plazo que requieren liderazgo comprometido (Wihler *et al.*, 2024). Esta secuencia permite convertir los hallazgos en decisiones prácticas, gracias a una triangulación metodológica validada por Creswell y Creswell (2023), lo que garantiza que cada paso tenga una base teórica firme y esté respaldado por evidencia confiable.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación se centran en la validación del diseño metodológico propuesto para la contratación de bienes y servicios en el sector salud público, no en los hallazgos de su aplicación práctica. El protocolo metodológico está diseñado para abordar todo el espectro de contrataciones que realizan las instituciones de salud: medicamentos, material de curación, laboratorio y radiológico; mobiliario y equipo; otros bienes; servicios médicos y de salud; servicios de mantenimiento y conservación; y otros servicios. Los resultados se estructuran en función de los dos objetivos específicos planteados: la validación del protocolo metodológico integral diseñado y la evaluación de su coherencia interna y viabilidad metodológica.

El primer objetivo específico fue diseñar un protocolo metodológico integral que combinara análisis documental, estudio organizacional y evaluación con participación de distintos actores. Los resultados muestran que la propuesta logra articular con éxito estas tres técnicas, de forma complementaria y coherente. Para validar los cuestionarios, se contó con un panel de 10 expertos de distintas disciplinas. Durante la evaluación, se revisaron 98 ítems distribuidos entre ambos cuestionarios. Esto permitió confirmar, tanto la solidez conceptual de los instrumentos, como la consistencia de los juicios emitidos por los evaluadores.

El protocolo cumplió con las cuatro características clave del diseño. Su comprehensividad se reflejó en su capacidad para abordar distintas dimensiones del fenómeno gracias a la integración ordenada de las tres técnicas. La fundamentación teórica se confirmó al alinearse con marcos reconocidos, como la hélice quintuple, el enfoque de implementación progresiva y el método de evaluación multinivel. La adaptabilidad contextual quedó demostrada en su diseño modular, que permite ajustes según el entorno institucional sin comprometer el rigor. Por último, su viabilidad práctica se probó al mostrar que puede aplicarse de forma realista, optimizando recursos y tiempos.

El segundo objetivo específico se enfocaba en validar teóricamente la coherencia interna y viabilidad metodológica de la propuesta. Los resultados confirman que la metodología desarrollada presenta una articulación lógica sólida entre sus componentes. La coherencia interna se manifiesta en la secuencia progresiva de las tres fases metodológicas, donde cada etapa genera resultados que alimentan sistemáticamente la siguiente, en consonancia con el modelo de implementación progresiva que sustenta teóricamente la propuesta.

La viabilidad metodológica se sustenta en tres pilares fundamentales. Primero, la eficiencia en el uso de recursos institucionales, demostrada mediante la optimización de técnicas que se potencian mutuamente (el análisis documental orienta la observación participante, que a su vez informa el diseño de cuestionarios). Segundo, la factibilidad temporal, evidenciada en la estructuración de periodos específicos para cada fase (12 meses para diagnóstico documental, 4 semanas para análisis organizacional, 3-4 semanas para evaluación

multi-actor). Tercero, la compatibilidad normativa, verificada mediante la alineación con el marco legal mexicano de contratación pública y las particularidades del IMSS Quintana Roo como caso representativo del sector salud.

Los criterios de validación teórica, establecidos como segunda dimensión de análisis, arrojaron resultados específicos que confirman la solidez metodológica. La validación de expertos, implementada mediante panel multidisciplinario, confirmó la pertinencia disciplinar y aplicabilidad contextual de la propuesta. La coherencia interna se validó a través de la articulación lógica verificada entre diagnóstico documental (identificación de patrones de EC en expedientes), análisis organizacional (comprensión de dinámicas institucionales) y evaluación multi-actor (captura de perspectivas diferenciadas de funcionarios y proveedores). La aplicabilidad institucional se evidencia en el diseño modular de la metodología, que permite a las instituciones implementar las tres fases de manera secuencial según sus capacidades específicas, adaptando los instrumentos al contexto particular sin comprometer la coherencia conceptual del protocolo.

El diseño metodológico propuesto representa una contribución teórica significativa al campo de la EC en contratación pública de bienes y servicios, particularmente por su enfoque integral que supera las limitaciones de enfoques unidimensionales identificadas en la literatura. Esta metodología se distingue por su capacidad de operacionalizar de manera práctica los marcos teóricos desarrollados por Vanacore *et al.* (2023), Alhola *et al.* (2018, citados en Zijp *et al.*, 2022) y Zijp *et al.* (2022), respondiendo directamente a las brechas metodológicas señaladas por Kirchherr *et al.* (2023) sobre la fragmentación conceptual en estudios de EC.

La validación teórica confirma que la metodología propuesta aborda efectivamente las cuatro limitaciones principales identificadas en la literatura especializada. Primero, supera la falta de comprehensividad señalada por Al-Sinan y Bubshait (2022) mediante la integración sistemática de múltiples perspectivas (documental, organizacional y multi-actor). Segundo, responde a la carencia de fundamentación teórica identificada por Berg *et al.* (2022) a través de la operacionalización explícita de marcos conceptuales validados. Tercero, aborda la limitada adaptabilidad contextual reportada por Castiella y Schaefer (2023) mediante su estructura modular que permite ajustes institucionales. Cuarto, enfrenta las restricciones de viabilidad práctica documentadas por Försterling *et al.* (2023) a través de la optimización en el uso de recursos y la eficiencia temporal.

La aportación metodológica principal radica en la creación de un protocolo sistemático que traduce principios teóricos de EC en herramientas operativas específicas para el sector salud público. Esta traducción responde a la necesidad identificada por Klein *et al.* (2022) de marcos metodológicos que faciliten la adopción de prácticas circulares en organizaciones públicas. La validación por expertos de los cuestionarios confirma que el protocolo propuesto presenta mayor potencial de implementación exitosa comparado con enfoques fragmentarios reportados en estudios como el de Zijp *et al.* (2022) en Países Bajos, donde solo una de cada tres iniciativas de compras circulares logró resultados positivos.

La estructura metodológica también responde a limitaciones específicas del contexto mexicano identificadas en el marco teórico. Mientras que Tapia y Olmos (2025) documentaron que el 95.29% de las contrataciones de bienes y servicios en IMSS Quintana Roo se basaban únicamente en precio más bajo, la metodología propuesta ofrece herramientas específicas para diagnosticar, analizar e intervenir esta situación mediante un enfoque sistemático, que considera tanto las restricciones normativas como las capacidades institucionales del sector salud mexicano.

No obstante, es importante reconocer las limitaciones propias de este estudio centrado en el diseño metodológico. La principal es que los resultados obtenidos corresponden únicamente a una validación teórica preliminar, sin que se haya comprobado aún la efectividad práctica de la metodología propuesta. La falta de

una implementación real representa una restricción relevante que debe tenerse en cuenta al interpretar estos hallazgos, ya que, si bien la validación teórica es un paso necesario, por sí sola no asegura el éxito cuando se aplica en entornos reales.

Un aspecto importante para considerar es que el protocolo fue desarrollado específicamente en el contexto del IMSS Quintana Roo, como caso representativo del sector salud público en México. Esto abre preguntas sobre qué tan aplicable podría ser en otras instituciones, sectores o regiones con características distintas. Además, la metodología depende en buena medida de la disponibilidad y calidad de la documentación pública. En contextos con baja transparencia o sistemas de información poco desarrollados, esto podría convertirse en una barrera significativa.

Estas limitaciones, sin embargo, abren nuevas líneas para futuras investigaciones. Un primer paso sería aplicar la metodología en al menos otra institución de salud para ver cómo funciona en la práctica y qué resultados concretos puede ofrecer. Más adelante, sería útil explorar cómo podría adaptarse a otros sectores públicos, como el educativo o el administrativo, y ponerla a prueba en distintos marcos normativos y contextos geográficos para conocer mejor su alcance y capacidad de adaptación.

Finalmente, será clave desarrollar estudios de seguimiento a largo plazo que permitan ver si las estrategias generadas con esta metodología siguen siendo efectivas con el tiempo. Este tipo de investigaciones ayudaría a validar empíricamente la idea central de este enfoque: que una metodología integral tiene más potencial para generar cambios institucionales sostenibles que aquellas basadas en soluciones aisladas. Así se cerraría el ciclo de validación que este estudio ha iniciado.

CONCLUSIONES

La investigación logró alcanzar su objetivo principal: diseñar y validar teóricamente una metodología innovadora que permita a las instituciones públicas del sector salud desarrollar sus propios marcos de análisis para aplicar principios de EC en los procesos de contratación de bienes y servicios.

Las distintas etapas de validación confirmaron que la propuesta cuenta con coherencia interna, una base teórica sólida y condiciones operativas que hacen factible su implementación futura. La validación teórica realizada muestra que el diseño metodológico tiene lo necesario para impulsar una verdadera transición hacia prácticas circulares. Es lo bastante amplio para abordar distintas dimensiones del problema, se apoya en marcos conceptuales sólidos, puede adaptarse a diferentes realidades institucionales y es viable considerando los recursos disponibles en el sector público.

El mayor aporte del estudio es la creación de un protocolo metodológico integral que convierte los principios de la EC en herramientas prácticas validadas teóricamente por expertos multidisciplinarios, pensadas específicamente para el contexto del sector salud público. La metodología, dividida en tres fases —Diagnóstico Documental, Análisis Organizacional y Evaluación multi-actor— permite llevar a la práctica conceptos complejos como la hélice quintuple, la implementación progresiva y la evaluación multinivel, superando las limitaciones de modelos más fragmentados ya identificados en la literatura.

Los resultados muestran que, al integrar técnicas cualitativas y cuantitativas dentro de un mismo protocolo secuencial, se logra un enfoque más completo, ajustado al contexto y operativamente posible. Esto representa una alternativa clara frente a propuestas unidimensionales. La relevancia de esta propuesta se refuerza al considerar que en el IMSS Quintana Roo, en las contrataciones públicas de bienes y servicios, predomina un enfoque centrado casi exclusivamente en el menor precio.

Ahora bien, es clave tener en cuenta que estos resultados vienen de una validación teórica inicial. Para comprobar su efectividad real, será necesario probar la metodología en escenarios concretos. Esta limitación es propia del enfoque del estudio, y aunque no le quita valor a la propuesta, sí deja claro el alcance actual de los hallazgos.

El protocolo desarrollado ofrece una base sólida, tanto conceptual como práctica, para futuras investigaciones sobre cómo aplicar la EC en la contratación pública del sector salud, ya sea en IMSS o en otras instituciones similares. Su diseño modular permite ajustarlo a distintas condiciones institucionales sin perder seriedad, lo que abre la puerta a su posible uso en otros marcos normativos.

En resumen, este trabajo entrega una herramienta metodológica que ya ha sido validada teóricamente y que puede aportar mucho al desarrollo del conocimiento en EC dentro del sector público. Ofrece un camino claro para que las instituciones de salud exploren, de forma estructurada, cómo avanzar hacia modelos de contratación más circulares y sostenibles.

REFERENCIAS

- Abdelmeguid, A., Afy-Shararah, M. y Saloniitis, K. (2024). Mapping of the circular economy implementation challenges in the fashion industry: a fuzzy-TISM analysis. *Circular Economy and Sustainability*, 4(1), 585-617. <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00296-9>
- Al-Sinan, M. A. y Bubshait, A. A. (2022). The procurement agenda for the transition to a circular economy. *Sustainability*, 14(18), Article 11528. <https://doi.org/10.3390/su141811528>
- Arshad, H. y Rosca, E. (2024). *Beyond boundaries: a knowledge view on the role of market engagement for enabling circular public procurement*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4714564>
- Berg, A., Alhola, K., Peltomaa, J. y Tietari, S. (2022). Developing together: the finnish way of promoting sustainable public procurement. *Journal of Public Procurement*, 22(4), 245-264. <https://doi.org/10.1108/JOPP-11-2021-0072>
- Camilleri, M. A., Sheehy, B. y Fraser, K. (2022). Circular economy. En S. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo y R. Abreu (Eds.), *Encyclopedia of sustainable management* (pp. 1-4). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_399-1
- Castiella, T. y Schaefer, B. (2023). La contratación pública sostenible: Origen y desarrollo. Asamblea. *Revista parlamentaria de la Asamblea de Madrid*, (45), 239-276. <https://doi.org/10.59991/rvam/2023/n.45/758>
- Congreso de la Unión. (2024). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Corbin, J. M. y Strauss, A. L. (2015). *Basics of qualitative research: techniques and procedures for developing grounded theory* (4ª ed.). SAGE.
- Cortez, L. A. (2020). *Innovación en modelos de negocio basados en economía circular para las empresas agrícolas exportadoras sinaloenses* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Occidente. <https://uadeo.mx/wp-content/uploads/2022/07/TESIS-...-LILIA-ARTEMISA-CORTEZ-ANGULO.pdf>
- Creswell, J. W. y Creswell, J. D. (2023). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6ª ed.). SAGE.
- De Oliveira, C. T. y Oliveira, G. G. A. (2023). What circular economy indicators really measure? An overview of circular economy principles and sustainable development goals. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, Article 106850. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106850>
- Dewalt, B. R. (2011). *Participant observation: a guide for fieldworkers*. Rowman & Littlefield.

- Diario Oficial de la Federación. (2025). *Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAASSP.pdf>
- Evans, M. I. y Britt, D. W. (2023). Resistance to change. *Reproductive Sciences*, 30(3), 835-853. <https://doi.org/10.1007/s43032-022-01015-9>
- Försterling, G., Orth, R. y Gellert, B. (2023). Transition to a circular economy in Europe through new business models: barriers, drivers, and policy making. *Sustainability*, 15(10), Article 8212. <https://doi.org/10.3390/su15108212>
- Gihring, K., Käsner, S.-A. y Timson, S. (2023). The link between the Sustainable Development Goals and the circular economy on the African continent. En *A just transition to circular economy*. ACEN. <https://acen.africa/wp-content/uploads/2024/08/JUST2CE-e-book-Chapter-13-The-link-between-the-Sustainable-Development-Goals-and-Circular-Economy-on-the-African-continent.pdf>
- Godlewska, M. y Godlewski, M. (2024). Circular public procurements: myth or reality? Towards transformation to circular economy. *Economics and Environment*, 89(2), Article 697. <https://doi.org/10.34659/eis.2024.89.2.697>
- Hunka, A., Vanacore, E., Mellquist, A.-C. y Fuertes-Gine, L. (2023). How to increase the uptake of circular public procurement? Lessons learned from local authorities in Sweden. *Journal of Public Procurement*, 23(2), 245-271. <https://doi.org/10.1108/JOPP-08-2022-0039>
- Instituto Mexicano del Seguro Social. (2024). *Política de Integridad para verificar el debido cumplimiento de los proveedores del Instituto Mexicano del Seguro Social*. https://www.dof.gob.mx/2024/IMSS/POLITICA_DE_INTEGRIDAD_PARA_VERIFICAR_EL_DEBIDO_CUMPLIMIENTO_DE_LOS_PROVEEDORES_DEL_IMSS_2024.PDF
- Jorgensen, D. (1989). *Participant observation*. SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781412985376>
- Kirchherr, J., Yang, N.-H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J. y Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): an analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, Article 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Klein, N., Ramos, T. B. y Deutz, P. (2022). Advancing the circular economy in public sector organisations: employees' perspectives on practices. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 759-781. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00044-x>
- Maksymiv, Y., Yakubiv, V., Hryhoruk, I. y Kravtsiv, V. (2021). Development of circular economy concept: historical background. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, 8(3), 120-129. <https://doi.org/10.15330/jpnu.8.3.120-129>
- Martínez, M. A., Octaviano, C. A. y Nieto, J. I. (2021). *Análisis y revisión técnica del marco legal existente para la instrumentación de una política en materia de economía circular para México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/677876/V2_An_lisis_y_revisi_n_t_cnica_de_marco.pdf
- McLennan, A. y Krebs Schleemann, B. (2021). The power of public procurement in the transition to a circular economy. *Field Actions Science Reports*, (Special Issue 23), 44-49.
- Mishulina, S. (2023). Theoretical approaches to determining the circular economy essence. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, (3), 39-50. <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2023.3.4>
- Murillo, I. (2017). *Análisis estratégico para la Secretaría de Salud de Sinaloa* (Tesis doctoral). Universidad de Occidente. <https://uadeo.mx/wp-content/uploads/2022/07/TESIS-...-IGNACIA-MURILLO-CASTRO..pdf>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4ª ed.). SAGE.

- Tapia González, H. A. y Olmos Martínez, E. (2025). Economía circular a partir de criterios de sostenibilidad en las adquisiciones gubernamentales: un estudio de caso del IMSS en Quintana Roo (2023–2024). *Revista Lince de Ciencias Sociales, Humanidades y Tecnologías*, 1(1), 1-24. <https://doi.org/10.63622/RLI/2025.01/01>
- Terra Dos Santos, L. C., Giannetti, B. F., Agostinho, F., Liu, G. y Almeida, C. M. V. B. (2023). A multi-criteria approach to assess interconnections among the environmental, economic, and social dimensions of circular economy. *Journal of Environmental Management*, 342, Article 118317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118317>
- Uvarova, I., Atstaja, D., Volkova, T., Grasis, J. y Ozolina-Ozola, I. (2023). The typology of 60R circular economy principles and strategic orientation of their application in business. *Journal of Cleaner Production*, 409, Article 137189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137189>
- Vanacore, E., Fuertes Giné, L. y Hunka, A. (2023). Optimising public procurement through circular practice: the power of intermediation. *Circular Economy*, 1(3). <https://doi.org/10.55845/GXGR4467>
- Vimal, K. E. K., Sivakumar, K., Kandasamy, J., Venkat, V. y Mani, R. S. (2023). Barriers to the adoption of digital technologies in a functional circular economy network. *Operations Management Research*, 16(3), 1541-1561. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00375-y>
- Walker, A. M., Opferkuch, K., Roos Lindgreen, E., Raggi, A., Simboli, A., Vermeulen, W. J. V., Caeiro, S. y Salomone, R. (2022). What is the relation between circular economy and sustainability? Answers from frontrunner companies engaged with circular economy practices. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 731-758. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00064-7>
- Wihler, A., Nolan, R. C., Zheng, Y., Inceoglu, I., Leroy, H. y Charnley, F. (2024). Driving sustainability in organizations: polymathic responsible leadership and circular economy. *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie*, 55(2), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s11612-024-00737-5>
- Zijp, M., Dekker, E., Hauck, M., De Koning, A., Bijleveld, M., Tokaya, J., De Valk, E., Hollander, A. y Posthuma, L. (2022). Measuring the effect of circular public procurement on government's environmental impact. *Sustainability*, 14(16), Article 10271. <https://doi.org/10.3390/su141610271>

Financiamiento climático para fortalecer la conservación de áreas naturales protegidas en México

Climate funding to strengthen conservation in natural protected areas in Mexico

Miriam Sosa Castro* y Antonina Ivanova Boncheva**

| *Universidad Autónoma Metropolitana | Correo electrónico: mmsc@xanum.uam.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6597-5293> |

| **Universidad Autónoma de Baja California Sur | Correo electrónico: aivanova@uabcs.mx |
| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1591-6006> |

RESUMEN

Ante la emergencia climática y el papel crucial de las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) en la mitigación de sus efectos y el desarrollo socioeconómico, este estudio tiene como objetivo analizar las limitaciones del financiamiento público destinado a las ANPs y proponer mecanismos innovadores para diversificar y fortalecer sus fuentes de financiamiento. La metodología empleada fue una revisión sistemática de la literatura. Se identificaron diversas estrategias, como bonos temáticos con criterios de desempeño ambiental, esquemas de *blended finance* que combinan recursos públicos y privados, fondos fiduciarios de conservación, seguros paramétricos y pagos por resultados. Los resultados evidencian avances como el diseño de instrumentos financieros en América Latina y proyectos piloto en México, pero también revelan persistentes barreras normativas, técnicas y de articulación institucional. Se concluye que es indispensable crear condiciones habilitantes para atraer inversión privada, fortalecer capacidades institucionales, mejorar la coordinación intersectorial y promover una participación comunitaria activa y sostenida.

ABSTRACT

Given the climate emergency and the crucial role of Protected Natural Areas (PNAs) in mitigating its effects and promoting socioeconomic development, this study aims to analyze the limitations of public funding for PNAs and propose innovative mechanisms to diversify and strengthen their funding sources. The methodology used was a systematic literature review. Various strategies were identified, such as thematic bonds with environmental performance criteria, blended finance schemes combining public and private resources, conservation trust funds, parametric insurance, and payments for results. The results show progress, such as the design of financial instruments in Latin America and pilot projects in Mexico, but also reveal persistent regulatory, technical, and institutional coordination barriers. The study concludes that it is essential to create enabling conditions to attract private investment, strengthen institutional capacities, improve intersectoral coordination, and promote active and sustained community participation.

Recibido: 24/julio/2025
Aceptado: 26/diciembre/2025
Publicado: 18/mayo/2026

Palabras clave:

| Financiamiento climático |
| Áreas Naturales Protegidas |
| Innovación Financiera |

Keywords:

| Climate Finance |
| Natural Protected Areas |
| Financial Innovation |

Clasificación JEL | JEL Classification |

Q56, Q55, G15



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

INTRODUCCIÓN

Las áreas naturales protegidas son de suma importancia para la recreación, turismo, conservación, servicios ecosistémicos y desarrollo y permanencia de pueblos indígenas y originarios. No obstante, la mayoría de ellas, sino es que todas, enfrentan problemas para poder financiarse. Así, las restricciones económicas limitan las actividades de conservación, promoviendo un desgaste cada vez más acelerado de las mismas.

Derivado de los efectos del cambio climático, el desgaste ambiental se ha acelerado y la pérdida de biodiversidad se ha convertido en una crisis silenciosa pero irreversible. Ecosistemas enteros, desde selvas hasta arrecifes, desaparecen a un ritmo sin precedentes, llevándose consigo no solo especies, sino también los medios de vida de millones de personas (Lillo *et al.*, 2025). Muestra de ello es que cada año, alrededor de 10,000 especies se extinguen, debilitando los frágiles equilibrios que sostienen la vida en el planeta (WWF, 2024). Esta degradación no solo amenaza la naturaleza, sino también la economía global, ya que la mayor parte del Producto Interno Bruto (PIB) mundial depende directa o indirectamente de los servicios ecosistémicos (BID, 2024).

Ante este escenario, la comunidad internacional ha reforzado su compromiso. Durante la COP16 en Cali, se establecieron mecanismos innovadores, como el Fondo Cali, destinado a financiar la conservación con un enfoque en pueblos indígenas y comunidades locales (COP16, 2024). Asimismo, el Fondo Global para la Biodiversidad (GBFF) ha incrementado su presupuesto a casi 400 millones de dólares, priorizando regiones con ecosistemas vulnerables (COP16, 2024). Paralelamente, en la COP29 de Bakú, el financiamiento climático ocupó un lugar central, destacando la necesidad de apoyar estrategias de adaptación basadas en soluciones naturales, como la reforestación y la restauración de manglares (NDC *Partnership*, 2024).

México, como uno de los países megadiversos, alberga más del 10% de las especies conocidas en apenas el 1% del territorio mundial (GEF, 2024). Sin embargo, esta riqueza enfrenta graves amenazas: sobreexplotación, contaminación y reducción crónica de presupuestos para la conservación. El gasto en protección ambiental ha caído a su nivel más bajo en una década, con apenas 0.7% del PIB destinado a este rubro (PNUD México, 2024). Aunque las áreas naturales protegidas abarcan más de 95 millones de hectáreas, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) opera con menos de un dólar por hectárea (GBFF, 2024).

El objetivo del presente documento es revisar qué mecanismos innovadores se han aplicado a nivel internacional, para proponer instrumentos financieros que se adapten a las necesidades de cada territorio, permitiendo diversificar y fortalecer las fuentes de financiamiento. Lo anterior en un contexto de insuficiente financiamiento público enfocado a la conservación de Áreas Naturales Protegidas. Este artículo busca llenar un vacío crítico en la literatura sobre financiamiento climático aplicado a la conservación en México, mediante una revisión sistemática de literatura que sigue protocolos estandarizados para garantizar rigor. A diferencia de estudios previos, este trabajo ofrece un marco analítico integral que vincula financiamiento climático internacional con necesidades locales de conservación, identificando fondos globales potencialmente accesibles para México, así como otras estrategias y mecanismos enfocados a la obtención no solo de mayores recursos, sino que contemple una gestión que integre a las comunidades y otros sectores de la sociedad civil.

La originalidad del presente documento de investigación radica en su enfoque aplicado y basado en evidencia, el cual realiza un diagnóstico de la conservación en México, cuantifica el déficit financiero de la CONANP (estimado en USD 120 millones anuales para protección básica). Documenta diversos casos internacionales, donde fondos climáticos han ampliado presupuestos de áreas protegidas y propone diversos mecanismos de financiamiento para extender los recursos y respaldar el esfuerzo ya realizado por la CONANP.

La hipótesis por contrastar es que, ante la falta de financiamiento orientado a la conservación de áreas naturales protegidas en México, existen diversos mecanismos, esquemas e instrumentos que han sido empleados a nivel internacional y que pudieran tomarse como ejemplo para ser aplicados, permitiendo ampliar el presupuesto y lograr dicho objetivo, antes de que sea demasiado tarde.

Este análisis no solo evidencia la urgencia de actuar, sino que proporciona herramientas concretas para que tomadores de decisiones aprovechen ventanas de oportunidad en el escenario global actual. Al demostrar cómo el financiamiento climático puede compensar recortes presupuestales, el capítulo establece un precedente

para redefinir la conservación como inversión estratégica, no como gasto, sobre todo para un país con la riqueza natural que posee México.

El artículo se compone de varias secciones, la primera sección revisa la literatura, la parte dos menciona la metodología, la tercera desarrolla un diagnóstico de la situación socio-ecológica en México, incluyendo las necesidades financieras de conservación en México y los mecanismos de financiamiento enfocado a conservación ya existentes, la cuarta sección desarrolla el financiamiento climático como opción de financiamiento a las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), la quinta sección desarrolla la estrategia de movilización de capital privado y otras estrategias novedosas de financiamiento. La última sección ofrece las reflexiones finales, propone estrategias de financiamiento para las ANPs y recomendaciones de política socio-ecológica, legal, fiscal y económica.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las ANPs son espacios estratégicos y cruciales para el desarrollo sostenible y enfrentan retos financieros importantes para lograr su conservación. La metodología BIOFIN (Iniciativa de Financiamiento para la Biodiversidad, por sus siglas en inglés) es una iniciativa desarrollada por Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) cuyo objetivo es identificar, movilizar y optimizar recursos financieros orientados a la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Dicha iniciativa, si bien no está solo enfocada en el financiamiento de las ANPs, sí está estrechamente relacionada con la conservación de la biodiversidad en dichas áreas.

Dada la importancia de dicha metodología, Rossiter *et al.* (2020) la emplean y documentan acciones en Brasil y Australia para restauración y conservación. En Brasil, Menezes (2023) identifica 21 normas y 195 instrumentos sobre biodiversidad, pero evidencia una desconexión entre normativas y asignaciones presupuestarias, además de una reducción de fondos al Ministerio de Medio Ambiente. En India, Lad *et al.* (2025) clasifican 43 programas públicos sobre biodiversidad pecuaria usando BIOFIN.

Por otro lado, Ivanova y Sosa (2025), en México, proponen fortalecer la Adaptación basada en Ecosistemas. Cardoso da Silva *et al.* (2021) muestran que solo se financia el 16% de lo requerido para ANPs brasileñas. Bohorquez *et al.* (2022) identifican 20 instrumentos para Áreas Marinas Protegidas y casi 100 indicadores. Cumming *et al.* (2021) proponen 9 recomendaciones post-COVID.

Con base en lo previamente señalado, la presente investigación contribuye a la literatura existente, analizando la evidencia internacional relacionada con mecanismos de financiamiento para la conservación. Lo anterior con la finalidad de desarrollar un marco de referencia para diseñar propuestas locales, que amplíen los recursos financieros a disponibilidad de las Áreas Naturales Protegidas en México. Así, se identifican fondos globales potencialmente viables, se plantean estrategias y mecanismos que promuevan la participación de las comunidades y sectores de la sociedad civil, priorizando enfoques inclusivos y sostenibles adaptados a las necesidades de cada ANP.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente, se aplicó la metodología de revisión sistemática de la literatura. La metodología empleada incluyó: i) búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas (Scopus, *Web of Science*, SciELO) y documentos institucionales (informes de COP, GBFF, PNUD, CONANP, SEMARNAT), utilizando términos clave como "financiamiento climático", "áreas protegidas", "CONANP" y "biodiversidad México"; ii) los criterios de selección fueron basados en relevancia temática, actualidad (priorizando publicaciones de los últimos 10 años)

y calidad de la fuente; iii) se realizó el análisis de mecanismos de financiamiento internacional aplicables al contexto mexicano y; iv) finalmente, se sintetizaron las mejores prácticas a partir de casos documentados en otros países megadiversos.

Así, se define cada mecanismo de financiamiento climático, se describe su alcance y magnitud y se detallan algunos ejemplos de su aplicación a temas relacionados con la conservación de áreas naturales protegidas.

III. MARCO TEÓRICO: DESARROLLO ECONÓMICO SOSTENIBLE Y LA PROTECCIÓN DE LAS ANPs

Durante gran parte del siglo XX, la economía ortodoxa ignoró las interrelaciones entre economía, medio ambiente y cohesión social, al tratar los aspectos sociales y ambientales como externalidades (Camps, 2022). Frente al cambio climático, la ONU redefinió el desarrollo integrando sostenibilidad y bienestar social como base para el crecimiento económico. Así nacieron los Objetivos del Milenio (2000) y los ODS (2015), que promueven un equilibrio entre rentabilidad, equidad y conservación (Sanahuja, 2015). Uno de sus objetivos clave es limitar el calentamiento global a menos de 2°C respecto a niveles preindustriales, ya que superar este umbral implicaría daños irreversibles (Jarvis *et al.*, 2020).

En este marco, las ANPs ofrecen soluciones naturales frente al cambio climático, conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos esenciales. Son también territorios clave para pueblos originarios, cultural y físicamente dependientes de ellos (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2024; López, 2024). Sin embargo, los países en desarrollo enfrentan restricciones presupuestarias ante múltiples demandas (Sosa e Ivanova, 2025). Por ello, se han impulsado marcos de financiamiento sostenible que movilicen recursos desde países desarrollados y del sector privado (Schneider, 2016).

Este documento revisa mecanismos financieros internacionales aplicables a la conservación ambiental, con el fin de que actores locales diseñen propuestas adaptadas para proteger las ANPs en México y otros países.

IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN SOCIO-ECOLÓGICA EN MÉXICO

México, uno de los 17 países megadiversos, concentra entre el 10% y 12% de las especies globales (CONABIO, 2023), con alta endemia: tercer lugar en mamíferos (564 especies, 30% endémicas) y segundo en reptiles (864 especies, 45% endémicas) (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Esta biodiversidad está ligada al conocimiento tradicional, resguardado por pueblos indígenas, y al uso de más de 3,000 plantas medicinales (Gobierno de México, 2018, 2021).

La pérdida de biodiversidad se asocia al cambio de uso de suelo por actividades primarias, muchas gestionadas por ejidos y comunidades, lo que exige enfoques de gobernanza social (Acevedo-Ortiz *et al.*, 2024). Los territorios indígenas cubren 14.3% del país y concentran gran parte de la vegetación. Un tercio de las ANPs federales se superpone con tierras indígenas, y casi la mitad de las ADVC se ubican allí (Urquía-Fernández, 2014).

México cuenta con 232 ANPs (CONANP, 2024), pero solo conserva el 50% de su vegetación primaria. Actividades como caza, recolección y tráfico de especies agravan la pérdida de hábitat (*The IUCN Red List*, 2024). Se han extinguido 127 especies, 74 endémicas (Baena y Halffer, 2008), y hay más de 41,000 en riesgo (Biodiversidad Mexicana, 2022), especialmente en islas y cuerpos de agua. Entre plantas, 5% de las extintas eran exclusivas del país (Lara-Lara *et al.*, 2008).

Esto impacta la calidad de vida: 45% del territorio tiene suelos degradados y 14% sufre desertificación, afectando la seguridad alimentaria (SEMARNAT y CONANP, 2020). A pesar de ello, el presupuesto ambiental federal ha disminuido desde 2013. En 2022 se asignó el 0.7% del PIB, la cifra más baja en una década (PNUD México, 2024).

Además, cambios políticos, falta de comprensión socio ecológica y decisiones unilaterales han generado efectos negativos: la sobreexplotación de especies o la pérdida de control territorial por restricciones mal diseñadas (Carman y González Carman, 2016; Torres *et al.*, 2023). A ello se suma el crimen organizado, que promueve actividades ilegales, lavado de dinero y violencia en regiones protegidas (Olivera, 2018; Ramírez y Bunker, 2015), debilitando la seguridad ambiental y social.

El acceso a financiamiento climático enfrenta retos: limitadas capacidades institucionales, complejidad en la gestión y requisitos técnicos para acceder a fondos no basados en deuda. Además, más del 60% del financiamiento climático internacional es deuda, lo que genera presión fiscal sobre países con alto capital natural pero baja responsabilidad histórica en el cambio climático. Se requieren mecanismos más justos que no comprometan su estabilidad macroeconómica.

Necesidades financieras para la conservación en México

Según el PNUD (2018), entre 2017 y 2020 México necesitaba más de 450 millones de dólares anuales para conservar su biodiversidad, casi 50% más que en 2015. Las ANPs enfrentaban un déficit de 60 millones de dólares al año (CONANP), y los programas de Pago por Servicios Ambientales requerían más de 200 millones (CONAFOR). Además, ejecutar la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México demandaba casi 200 millones anuales.

Esto evidenciaba una brecha entre lo disponible y lo necesario para proteger los ecosistemas, y subrayaba la urgencia de aumentar el financiamiento ambiental. Aunque esas necesidades se estimaron para 2017–2020, el presupuesto no creció; por el contrario, se redujo, ampliando la brecha financiera y dejando sin atender múltiples demandas clave (Guzmán, Velasco y Barbosa, 2024).

Los recursos internos en México son insuficientes no solo para conservar la biodiversidad, sino también para cubrir necesidades básicas. Por ello, se vuelve fundamental acceder a fuentes de financiamiento complementarias.

Mecanismos financieros disponibles en México

Las ANPs son territorios bajo jurisdicción nacional, poco alterados por el ser humano, cuyo objetivo es conservar flora y fauna, especialmente especies endémicas o en riesgo (SEMARNAT y CONANP, 2020). Son clave para la adaptación al cambio climático como soluciones basadas en la naturaleza: bosques, manglares y dunas actúan como barreras naturales, mitigando impactos de fenómenos extremos. Además, funcionan como sumideros de carbono, almacenando emisiones (UNDP, 2018).

En el ámbito social, las ANPs son fundamentales para el desarrollo y la cultura de pueblos indígenas. Al ser sistemas socio ecológicos, pueden recibir financiamiento para mitigación, adaptación, biodiversidad, inclusión y desarrollo económico.

Los recursos pueden ser públicos, privados o mixtos, de origen nacional o internacional, y clasificarse en: mecanismos basados en el mercado, donaciones, seguros, bonos, canjes de deuda, créditos concesionales, entre otros. Algunos dependen de resultados o políticas, otros son deuda, a tasas preferenciales o de mercado.

También existen mecanismos locales como herramientas fiscales y regulatorias alineadas a objetivos de corto y largo plazo (UNDP, 2018). Entre los instrumentos de mercado están los mercados de carbono, bonos forestales, ecoturismo, comercio sustentable, pagos por servicios ambientales, impuestos ecológicos y licencias, administrados por CONANP, SEMARNAT, CONAFOR, SHCP, PROFEPA, FMCN, GRAF, Profauna y Aguas de Saltillo (UNDP, 2018).

Los seguros y coberturas de riesgo se aplican a restauración de corales y protección de recursos agrícolas. Las donaciones incluyen Asistencia Oficial al Desarrollo, financiamiento a biodiversidad y aportes filantrópicos (UNDP, 2018).

Instrumentos regulatorios incluyen cuotas de pesca y subsidios agrícolas, gestionados por SEMARNAT, SAGARPA, CONAPESCA, EDF y COBI. Los fondos ambientales, regulados por CONABIO, SEMARNAT, CONAFOR, FMCN, gobiernos subnacionales y FONCET, se destinan a conservación, gestión forestal, áreas protegidas, cambio climático y especies clave, como la mariposa monarca (UNDP, 2018).

V. FINANCIAMIENTO CLIMÁTICO COMO OPCIÓN DE FINANCIAMIENTO A ANPs

Financiamiento público climático

El financiamiento internacional para el cambio climático proviene, en su mayoría, de presupuestos nacionales de países desarrollados y se canaliza mediante instituciones multilaterales y bilaterales (Benavides *et al.*, 2022). Su registro se realiza a través de mecanismos de la CMNUCC y del sistema de monitoreo de países acreedores de la OCDE (Pérez Báez *et al.*, 2023).

La mayor parte de estos fondos es aportada por gobiernos de la OCDE y se dirige a acciones de mitigación y adaptación en países en desarrollo. Los bancos multilaterales de desarrollo (BMD) reúnen recursos de varios gobiernos y los distribuyen a través de programas (Zhu, 2021), mientras que las instituciones bilaterales, financiadas por un solo Estado, canalizan apoyo según prioridades estratégicas, tecnológicas o geográficas (Anastasio, 2021).

Financiamiento bilateral

El financiamiento bilateral se ejecuta mediante agencias estatales que responden a mandatos gubernamentales, con enfoque en desarrollo y economías emergentes, alineado con las políticas del país donante (Anastasio, 2021). Estas intervenciones se guían por intereses estratégicos.

Aunque es difícil rastrear con precisión los aportes por acción o sector, la Evaluación Bienal 2020 de la CMNUCC reportó un promedio anual de 32,100 millones de dólares entre 2017–2018. Por su parte, la OCDE registró un monto ligeramente mayor: 32,700 millones anuales como ayuda oficial al desarrollo relacionada con el clima (Watson *et al.*, 2022). La Tabla 1 muestra algunos fondos e iniciativas bilaterales.

Tabla 1
Fondos e Iniciativas bilaterales

F-ODM	Fondo para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (implementado por el PNUD)
Fondo de NAMA	Fondo NAMA (medidas de mitigación apropiadas para cada país) (Reino Unido, Alemania, Dinamarca y la Comisión Europea)

GCCI	<i>Global Climate Change Initiative</i> (iniciativa mundial sobre el cambio climático, Estados Unidos)
GCPF	<i>Global Climate Partnership Fund</i> (fondo de la alianza mundial para el clima) (Alemania, Reino Unido y Dinamarca)
ICF	<i>International Climate Finance</i> (financiamiento internacional para el clima, Reino Unido)
IKI	<i>Internationale Klimaschutzinitiative</i> (iniciativa climática internacional, Alemania)
NICFI	<i>Norway's International Climate Forest Initiative</i> (iniciativa internacional sobre el clima y los bosques de Noruega)
REM	REDD + <i>Early Movers</i> (programa de pioneros de REDD +) (Alemania y Reino Unido)

Fuente: Watson *et al.* (2022).

Ejemplos de acuerdos bilaterales en América Latina incluyen el Fondo Amazonía (Brasil) y el Fondo Colombia Sostenible (FCS). El Fondo Amazonía, gestionado por el BNDES, financia proyectos ambientales en la Amazonía. Recibe 95% de sus fondos de Noruega y Alemania, y el resto de Petrobras. Suspendido bajo el gobierno Bolsonaro, ha apoyado R\$2.5 mil millones y desembolsado R\$1.6 mil millones en 114 proyectos, bajo un esquema basado en resultados (OEI, 2025).

El FCS, financiado por Noruega, Suecia y Suiza y administrado por el BID, ha recibido casi 52 millones de dólares, invertidos en 27 proyectos en 75 municipios de 20 departamentos, beneficiando a 11,805 personas (Fondo Colombia Sostenible, 2023).

México ha colaborado bilateralmente con GIZ y UK PACT. GIZ lleva 40 años apoyando proyectos en biodiversidad, clima e inclusión (GIZ, 2024). UK PACT impulsa desarrollo sostenible y resiliente desde 2018. Ha financiado proyectos en finanzas verdes, energía limpia, movilidad sostenible y conservación, incluyendo observación para evitar deforestación y apoyo a agricultura en el sur del país. En 2020 comenzó una segunda fase, con 18 proyectos activos, destacando el enfoque en naturaleza (UK PACT, 2025).

Bancos Nacionales de Desarrollo (BND)

Los bancos nacionales de desarrollo también son actores clave, al intermediar recursos internacionales y movilizar capital adicional para proyectos climáticos. Tienen un papel activo en atraer inversiones para la transición hacia economías sostenibles (Samaniego y Schneider, 2023). Sin embargo, su participación se redujo drásticamente: de aportar casi dos tercios del financiamiento climático en 2013, cayeron a menos del 7% en 2020, debido a su retraimiento y al impacto de la pandemia. Esta disminución fue compensada por los Bancos Multilaterales de Desarrollo (Samaniego y Schneider, 2023).

Esquemas de financiamiento multilateral climático

Bancos Multilaterales de Desarrollo

En 2023, los bancos multilaterales de desarrollo (BMD) alcanzaron un récord de 125 mil millones de dólares en financiamiento climático (BID, 2024). De estos, 74.7 mil millones fueron para países de ingresos bajos y medios (60% mitigación, 40% adaptación), concentrados en instituciones públicas. La participación del sector privado se duplicó respecto a 2022. Además, se movilizaron 68.8 mil millones en cofinanciamiento: 58.5% público y 41.5% privado.

El Banco Mundial lidera en apoyo a países de ingresos bajos y medios, seguido por el Banco Africano de Desarrollo. En América Latina y el Caribe, el Grupo BID destinó 7,500 millones: 6,100 millones vía BID al sector público, 1,500 millones por BID *Invest* y 25 millones por BID *Lab* a proyectos innovadores (BID, 2024).

Entre sus instrumentos destaca la conversión de deuda por naturaleza. En 2023, el BID y la DFC apoyaron a Ecuador en la recompra de 1,600 millones de dólares en deuda mediante Bonos Azules, generando 450 millones para la Reserva Marina Hermandad. En Barbados, garantías del BID y TNC permitieron un esquema similar (BID, 2024).

El BID también apoya la integración de la biodiversidad en presupuestos e inversiones. México participó en un piloto y creó desde 1990 el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas (Martínez Guzmán, 2000). Además, valoró económicamente el arrecife mesoamericano para diseñar un seguro como infraestructura natural.

El Acelerador de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), con 3.7 millones de dólares y apoyo de *Global Affairs Canada*, fortalece inversión privada en SBN en Brasil, Colombia, Guatemala y México, desarrollando herramientas para incorporarlas en políticas públicas (BID, 2024, 2024a).

En innovación financiera climática, el BID impulsa el Fondo de Bioeconomía Amazónica, apoyado por el Fondo Verde para el Clima, para emitir bonos temáticos. En Bolivia, se busca fortalecer agroforestería indígena; en Perú, ya opera un fondo con financiamiento concesional (BID, 2024).

El mecanismo BID-CLIMA premia con descuentos por metas cumplidas en clima y biodiversidad. En Colombia, el Banco de Hábitat Terrasos y el Proyecto CO-T1638 promueven compensaciones ambientales basadas en resultados. Además, se desarrollan bonos sostenibles y fideicomisos de conservación en Chile, Ecuador y Barbados.

Sin embargo, dos tercios del financiamiento climático a países de ingresos bajos y medios sigue siendo vía préstamos de inversión. Esquemas como garantías o pagos por resultados tienen baja participación, lo que ha generado críticas, ya que estas deudas imponen cargas fiscales y reducen inversión pública en sectores básicos.

La falta de mecanismos más accesibles, como subvenciones o coberturas de riesgo, limita la atracción de capital privado para mitigación y adaptación. Ante ello, los BMD han anunciado acciones conjuntas para mejorar la gobernanza financiera climática, crear métricas comunes de impacto y ampliar su asistencia técnica (*African Development Bank et al.*, 2024).

Fondos climáticos del CMUNCC

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) constituye uno de los principales mecanismos multilaterales dedicados a enfrentar los desafíos ambientales globales. Su mandato abarca la protección de la biodiversidad, el combate al cambio climático, la lucha contra la contaminación y la conservación de ecosistemas tanto terrestres como marinos. Desde su creación hace más de treinta años, el FMAM ha permitido que los países en desarrollo accedan a recursos financieros clave para cumplir con sus compromisos ambientales internacionales. Su estructura participativa incluye a 186 países miembros, organizaciones de la sociedad civil, pueblos indígenas, así como grupos de mujeres y jóvenes, lo que evidencia su orientación inclusiva en la gobernanza ambiental.

A lo largo de su historia, el FMAM ha otorgado más de 25 mil millones de dólares en financiamiento directo y ha movilizado recursos adicionales por un valor superior a los 145 mil millones de dólares. Esta capacidad de atracción de inversión ambiental ha sido fundamental para escalar la acción climática a nivel global. El grueso de los recursos se ha canalizado a través del Fondo Fiduciario del FMAM, que concentra

aproximadamente el 91% del total, con subvenciones que van desde montos pequeños de 7,000 dólares hasta inversiones que alcanzan los 306 millones, lo que demuestra la flexibilidad del mecanismo. La cartera temática del FMAM se concentra principalmente en cambio climático y biodiversidad, que en conjunto representan más del 55% de los proyectos financiados. Otras áreas como la gestión de químicos y desechos, y los proyectos vinculados con aguas internacionales, aunque con una menor representación, alrededor del 10% y 5% respectivamente, también forman parte de su alcance programático.

Entre las agencias ejecutoras más relevantes destacan el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), actores que han jugado un papel fundamental en la implementación de los proyectos. Desde una perspectiva geográfica, si bien una parte de las subvenciones se ha destinado a iniciativas multinacionales, países como México, China, Brasil, India, Indonesia, Rusia, Colombia, Filipinas y Sudáfrica figuran entre los principales beneficiarios. En el caso de México, destacan proyectos como “Paisajes Productivos Sostenibles”, “Mex30x30: Conservación de la biodiversidad mexicana a través de comunidades y sus áreas protegidas” y “ORIGEN: Restauración de Cuencas para Ecosistemas y Comunidades”. El PNUD ha sido la agencia con mayor número de proyectos en el país, y el Fondo Fiduciario del FMAM ha sido la fuente principal de financiamiento.

Fondo de Adaptación

El Fondo de Adaptación es otro de los instrumentos financieros clave en la arquitectura internacional de financiamiento climático. Creado en el marco del Protocolo de Kioto en 2010, su objetivo es apoyar a comunidades vulnerables en países en desarrollo para hacer frente a los impactos del cambio climático, atendiendo de manera prioritaria las necesidades locales. Desde su establecimiento, ha canalizado más de 1,200 millones de dólares para financiar 176 proyectos de carácter local que, en conjunto, han beneficiado a más de 45 millones de personas en todo el mundo.

Una de las características distintivas de este fondo es la posibilidad de Acceso Directo y Acceso Directo Mejorado, modalidades que permiten a los países receptores diseñar, implementar y administrar sus propios proyectos climáticos mediante entidades nacionales acreditadas. Esta estrategia ha contribuido al fortalecimiento institucional y a una mayor autonomía en la gestión climática por parte de los países en desarrollo. En términos de financiamiento, los recursos del fondo provienen tanto de contribuciones públicas y privadas, como de un impuesto del 2% aplicado a los Certificados de Reducción de Emisiones (CER) generados bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.

Hasta noviembre de 2024, el fondo había aprobado un total de 233 proyectos. La mayoría de las iniciativas (64%) tiene una duración de entre tres y cinco años, mientras que cerca del 25% corresponde a proyectos de corta duración, inferiores a un año. En cuanto a la distribución regional, África concentra el 36% de los proyectos aprobados, seguida por Asia-Pacífico con 28%, América Latina y el Caribe con 21%, y Europa del Este con un 4%. Este patrón geográfico refleja el interés del fondo por apoyar a regiones particularmente vulnerables, aunque también revela la necesidad de fortalecer la cobertura en algunas zonas menos representadas.

Los sectores prioritarios incluyen enfoques multisectoriales vinculados a la agricultura, la seguridad alimentaria, la reducción de riesgos de desastres, sistemas de alerta temprana, gestión del agua y desarrollo rural. En el caso de México, en abril de 2024 el Comité Directivo del Fondo aprobó la nota conceptual del proyecto “*Ha Ta Tukari*, el agua es nuestra vida”, con el objetivo de avanzar hacia la cobertura universal de agua potable en 21 comunidades de la Nación Wixarika. Asimismo, se autorizó el financiamiento para la formulación completa del proyecto, que contempla un monto aproximado de 8 millones de dólares. Esta

aprobación representa un hito al ser la primera iniciativa mexicana en acceder a financiamiento del Fondo de Adaptación a través de su ventanilla nacional (Secretaría de Hacienda, 2024).

Fondo Verde para el Clima (GCF)

El Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés) es actualmente el mayor mecanismo multilateral de financiamiento climático. Establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 2012 e iniciado formalmente en 2015, su misión es apoyar a los países en desarrollo en la implementación de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), contribuyendo a un modelo de desarrollo resiliente al clima y bajo en emisiones, en línea con el objetivo del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 1.5 °C (GCF, 2025)

El GCF recibe financiamiento de países desarrollados, así como de fuentes públicas, privadas y alternativas. Entre sus principales contribuyentes se encuentran el Reino Unido, Alemania, Francia y Japón. Su gobernanza está a cargo de una Junta Directiva que incluye representantes de países donantes y receptores, y que cuenta también con observadores de la sociedad civil y del sector privado. Hasta marzo de 2025, el GCF había aprobado 297 proyectos en 133 países en desarrollo, con una inversión total de 16.6 mil millones de dólares. Se estima que estos proyectos podrían beneficiar a aproximadamente 1,300 millones de personas y evitar la emisión de tres mil millones de toneladas de CO₂ equivalente (Bhadra, 2024).

En cuanto a la escala de los proyectos, el 11% corresponde a microescala, el 34% a pequeña escala, el 36% a mediana escala y el 19% a proyectos de gran envergadura. El portafolio financiero está compuesto por un 41% de donaciones, 40% de préstamos, 12% de inversiones de capital, 4% en pagos por resultados y 3% en garantías (Bhadra, 2024). La mayor parte de los recursos (56%) se ha destinado a mitigación, mientras que el 44% se ha orientado a la adaptación. A nivel de implementación, el 77% de los fondos se canaliza mediante Entidades Acreditadas Internacionales (AEs), y solo el 13% y el 10% por Entidades de Acceso Directo nacionales y regionales, respectivamente (Bhadra, 2024).

En el contexto mexicano, hasta mayo de 2024 el GCF había aprobado 11 proyectos con financiamiento total de 141.2 millones de dólares, además de cinco programas de preparación “*Readiness Programs*” por un total de 2.2 millones. Uno de los proyectos más recientes es “Comunidades Sostenibles para la Acción Climática en la Península de Yucatán (ACCIÓN)”, aprobado en febrero de 2025. Esta iniciativa, con financiamiento de 25 millones de dólares en donación y cofinanciamiento en especie por 7.7 millones, busca fortalecer la resiliencia climática de comunidades, ecosistemas y sistemas productivos mediante soluciones basadas en ecosistemas.

VI. ESTRATEGIA DE MOVILIZACIÓN DE CAPITAL PRIVADO

Dada la magnitud del reto, se ha reconocido que el capital público es insuficiente para enfrentarlo, una alternativa es movilizar capital privado, modificando la regulación, a partir de incentivos fiscales y reduciendo las barreras y haciendo más atractivas las inversiones. Para lograrlo, los mecanismos públicos han diseñado estrategias particulares que incorporan garantías, coberturas cambiarias, seguros, financiamiento concesional y algunas otras herramientas.

Así, la publicación de la taxonomía sostenible en 2023 ha permitido establecer un marco claro con criterios específicos por sector, para que un proyecto/instrumento se considere sostenible. A pesar de que es un mecanismo de cumplimiento voluntario, se considera un importante precedente, para que el sector privado tenga una referencia y pueda anticiparse a los cambios en la regulación, cumpliendo con los requerimientos necesarios en las futuras emisiones de instrumentos y estos puedan ser considerados como sostenibles (SHCP, 2023).

Dentro de los mecanismos financieros privados existen los denominados bonos verdes que son emitidos por gobiernos y empresas para financiar proyectos con beneficios claros y medibles a largo plazo y, como su nombre lo indica, son obligaciones. El mercado se rige por los principios de los bonos verdes, dictados por la Asociación Internacional del Mercado de Capitales (ICMA), que es una guía voluntaria para garantizar la transparencia.

Con base en *Climate Bond Initiative* (CBI), hasta 2023 México había recaudado 38.3 miles de millones de dólares en el mercado de bonos temáticos, principalmente enfocados en sostenibilidad. El sector público ha liderado dicha emisión, representando el 75% del total. El gobierno federal ha emitido 14 bonos de sostenibilidad por 13.3 mil millones de dólares y Banobras ha colocado 17 instrumentos que suman 4.5 mil millones (CBI, 2024).

Otro mecanismo de deuda son los créditos verdes que, a diferencia de los bonos verdes, son negociados de manera privada, como cualquier otro crédito y no de manera pública en las bolsas. Los montos obtenidos a través de este mecanismo son menores y los costos de gestión también son menores, por lo que son más accesibles. Al igual que los bonos, financian proyectos con beneficios ambientales medibles y comprobables y siguen los principios de créditos verdes de la ICMA.

El gobierno mexicano recientemente está impulsando este tipo de mecanismos a través de comunicados de la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF). Una de las instituciones que ha realizado promoción de este tipo de contratos es BBVA, quien concedió un crédito verde para la construcción de un hotel *Four Seasons* en Ciudad de México y proyecto inmobiliario “Mayakoba” por 480 millones de dólares. Igualmente, la corporación inmobiliaria Vesta contrató un crédito verde por 550 millones de dólares, por mencionar algunos ejemplos en México (BBVA, 2025).

A menor escala, también existen dinámicas de financiamiento enfocadas al eco-emprendedurismo. Dicha tendencia se enfoca en financiar a compañías de reciente creación que buscan financiar proyectos con nuevas tecnologías o soluciones que impactan positivamente en términos ambientales, dos mecanismos de financiamiento que se encuentran dentro de esta dinámica son el capital de riesgo o *venture capital* y el financiamiento colectivo o *crowdfunding*.

Ejemplos de financiamiento climático novedoso

Un esquema que ha resultado exitoso es el financiamiento con base en resultados el cual un esquema que condiciona la entrega de recursos financieros al cumplimiento comprobado de objetivos específicos. Esta modalidad busca mejorar el impacto y la eficiencia, ya que los pagos se realizan solo si se logran resultados verificables por un tercero independiente (Morveli *et al.*, 2023).

El FBR ha sido ampliamente utilizado en el financiamiento climático, especialmente en áreas como REDD+, agricultura sostenible y energía limpia. Su fortaleza radica en la transparencia y la alineación de incentivos, aunque su aplicación requiere capacidades técnicas e institucionales avanzadas (Medina, 2024).

Un ejemplo de ello es El Grupo Banco Mundial que también ha propuesto un mecanismo de financiamiento ligado al cumplimiento de metas ambientales, con el objetivo de promover el logro de objetivos ambiciosos relacionados con el clima y la biodiversidad. Así, se vinculan las condiciones del préstamo (tasas de interés a pagar, reembolso, donaciones/apoyos, etc.) a metas medibles y que se encuentren por encima de los compromisos internacionales ya fijados (GBM, 2023).

Un ejemplo de dichos esquemas en México es el proyecto “*Bright Distribution Solar Projects*”, financiamiento de 5 millones de dólares, en el cual se espera reducir la tasa de interés a medida que se

cumplen los resultados comprometidos. El objetivo del proyecto es la implementación de sistemas de energía renovable (BID *invest*, 2025).

Algunos otros ejemplos de mecanismos innovadores en México son seguros paramétricos¹ y fondos. Así, destacan los proyectos ganadores del Reto de Innovación en Seguros para la Agricultura y la Naturaleza 2024, impulsado por *Insurance and Risk Finance Facility* (IRFF) y la Iniciativa Finanzas para la Biodiversidad (BIOFIN) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

En agricultura, la empresa Luxelare desarrolló un seguro paramétrico multirriesgo basado en datos satelitales y meteorológicos, enfocado en apoyar a pequeños productores mediante cobertura climática, fomento a prácticas regenerativas y asesoría técnica. En la categoría de naturaleza, Banfin Ecosocial y Dexter propusieron un fondo de hábitat para financiar la restauración de ecosistemas clave, complementado con la emisión de bonos de biodiversidad para atraer inversión sostenible. Ambos proyectos recibirán apoyo técnico y financiero del PNUD para escalar su impacto, consolidándose como ejemplos de finanzas regenerativas en acción (Naciones Unidas, 2024).

Mecanismo de riesgo de precios es un mecanismo que protege a pequeños agricultores de la volatilidad de precios agrícolas mediante seguros integrados en préstamos. Reduce costos con un fondo de primera pérdida y promueve prácticas sostenibles, mejorando el acceso a financiamiento y fortaleciendo la resiliencia del sector agrícola frente al cambio climático.

Por otro lado, las garantías también juegan un rol clave en la movilización de capital. El Grupo Banco Mundial (GBM) lanzó el 1 de julio de 2024 una plataforma de garantías innovadora que representa un avance clave en el uso estratégico de instrumentos financieros para el desarrollo. Esta plataforma, gestionada por el Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones (MIGA), busca maximizar el impacto del capital limitado disponible en economías emergentes mediante un enfoque integrado y eficiente (GBM, 2024).

En México, NAFIN ha financiado proyectos a través de crédito y garantías, sobre todo a proyectos de generación energética mediante fuentes renovables. Igualmente, ha participado en la emisión de bonos verdes, para financiar proyectos como parques eólicos, crédito empresarial y transferencia de riesgos para geotermia (Hernández, 2020).

VII. REFLEXIONES FINALES Y RECOMENDACIONES PARA EL FORTALECIMIENTO FINANCIERO DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Las Áreas Naturales Protegidas en México desempeñan un papel central en la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono, la regulación hídrica y la protección de territorios ancestrales. No obstante, su sostenibilidad se ve comprometida por limitaciones estructurales de financiamiento. La creciente presión sobre los ecosistemas, derivada del cambio climático, las actividades extractivas y la expansión urbana, ha puesto en evidencia que los modelos de financiamiento actuales son insuficientes y frágiles. Frente a esta realidad, se vuelve indispensable replantear los esquemas financieros desde un enfoque que privilegie la resiliencia institucional, la eficiencia en el uso de los recursos y la participación de actores diversos, tanto públicos como privados.

1. Los seguros paramétricos realizan pagos basados en la magnitud de un evento y en pérdidas estimadas a partir de modelos y datos predefinidos. Este enfoque permite anticipar el impacto potencial y calcular de forma precisa las compensaciones, lo que facilita pagos rápidos por parte de aseguradoras y reaseguradoras. Sus principales ventajas incluyen agilidad, reducción de tiempos y costos, y eliminación de procesos administrativos complejos (Fundación MAPFRE, 2025).

En este contexto, es fundamental avanzar hacia mecanismos innovadores de financiamiento climático que permitan ampliar y diversificar las fuentes de ingresos para las ANPs. Una alternativa eficaz es el financiamiento basado en resultados (FBR), donde los desembolsos se vinculan directamente al cumplimiento de indicadores de conservación previamente acordados y validados por entidades independientes. Este enfoque puede generar mayor transparencia, rendición de cuentas y alineación de incentivos. Asimismo, la emisión de bonos temáticos, como los bonos verdes o de biodiversidad, representa una herramienta con gran potencial para captar recursos del mercado financiero con fines ambientales. Su implementación en países de América Latina ha demostrado ser útil para movilizar capital hacia territorios de alto valor ecológico.

Además, la creación de fondos fiduciarios híbridos que combinen capital público, donaciones filantrópicas e inversión privada permitiría distribuir mejor los riesgos y generar flujos estables de recursos en el largo plazo. Para fortalecer estas iniciativas, la tecnología debe jugar un rol clave: herramientas como la teledetección, sensores satelitales e inteligencia artificial pueden optimizar el monitoreo de las ANPs, mejorar la trazabilidad del financiamiento recibido y ofrecer evidencia empírica sobre su impacto ambiental y social.

Desde una perspectiva de política pública, se recomienda actualizar el marco normativo para facilitar la integración de instrumentos financieros verdes y de conservación, así como promover incentivos fiscales para quienes invierten en capital natural. También es prioritario descentralizar la gestión financiera de las ANPs, reconociendo y fortaleciendo la autonomía de los actores locales, en particular comunidades indígenas y rurales. Finalmente, resulta urgente consolidar alianzas con organismos multilaterales, banca de desarrollo y sector asegurador, que puedan aportar recursos, capacidades técnicas y modelos replicables. De esta manera, será posible avanzar hacia un sistema de conservación más robusto, inclusivo y preparado para los desafíos climáticos del presente y del futuro.

Como una línea futura de investigación, se propone ampliar la discusión sobre cuáles son los factores que en México impiden un mayor desarrollo de esta clase de financiamiento hacia a las ANPs.

REFERENCIAS

- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., Ortiz-Hernández, Y. D., Pérez-Pacheco, R., Ortiz-Hernández, F. E., Martínez-Tomás, S. H. y Tavera-Cortés, M. E. (2024). Nature-based solutions for conservation and food sovereignty in indigenous communities of Oaxaca. *Sustainability*, 16(18), Article 8151. <https://doi.org/10.3390/su16188151>
- African Development Bank, Asian Development Bank, Asian Infrastructure Investment Bank, Council of Europe Development Bank, European Bank for Reconstruction and Development, European Investment Bank, Inter American Development Bank, IDB Invest, Islamic Development Bank, New Development Bank y World Bank. (2024). *2023 joint report on multilateral development banks climate finance*. <https://doi.org/10.18235/0013160>
- Anastasio, M. D. (2021). La configuración del financiamiento climático internacional: conceptos, mecanismos y fuentes de recursos. *Ecogralia*, 5(10), 1-9. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/ecogralia/eg2021anastasiomariodaniel.pdf>
- Anzola Montero, G. (2024). Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad 2024 (COP16), un evento para medir el futuro del planeta. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 27(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2777>
- Baena, M. L., Halffter, G., Lira-Noriega, A. y Soberón, J. (2008). Extinción de especies. En *Capital natural de México* (Vol. 1, pp. 263-282). CONABIO. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I10_Extincionesp.pdf

- BBVA. (2025). *Green and sustainability-linked loan*. <https://www.bbvacib.com/green-and-sustainability-linked-loan-newsletter/>
- Benavides, J., García, H., Cadena, X. y Salamanca, D. (2022). *Actualización de documento, líneas estratégicas y plan de acción y seguimiento (PAS) de la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático (ENFC)*. <http://hdl.handle.net/11445/4390>
- Bhadra, R. T. (2024). El Fondo Verde del Clima (FVC). En *El mundo indígena 2024*. IWGIA. <https://iwgia.org/es/el-fondo-verde-del-clima/5426-mi-2024-fvc.html>
- BID. (2024, 6 de marzo). *Biodiversidad en América Latina y el Caribe* [Hoja informativa]. <https://www.iadb.org/es/noticias/biodiversidad-en-america-latina-y-el-caribe>
- BID. (2024, 24 de octubre). *Cuatro países de la región impulsarán soluciones basadas en la naturaleza con apoyo del BID y Canadá* [Anuncios]. <http://iadb.org/es/noticias/cuatro-paises-de-la-region-impulsaran-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-con-apoyo-del>
- BID Invest. (2025, 3 de febrero). *El financiamiento basado en resultados recompensa a los inversores al lograr impacto previsto*. <https://idbinvest.org/es/blog/instituciones-financieras/el-financiamiento-basado-en-resultados-recompensa-los-inversores-al>
- Biodiversidad Mexicana. (2022). *La crisis de la biodiversidad*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/crisis>
- Bohorquez, J. J., Dvaskas, A., Jacquet, J., Sumaila, U. R., Nye, J. y Pikitch, E. K. (2022). A new tool to evaluate, improve, and sustain marine protected area financing built on a comprehensive review of finance sources and instruments. *Frontiers in Marine Science*, 8, Article 742846. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.742846>
- Camps, S. P. (2022). Hermenéutica de la sustentabilidad. Contribución crítica a la teoría económica desde la perspectiva de la economía ecológica. *Economía UNAM*, 19(55), 131-142. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/CLA01000533263>
- Carabias Lillo, J. y Pisanty Baruch, I. (2024). *Biodiversidad y salud planetaria* (Ecosalud, Vol. 3). Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, UNAM.
- Cardoso da Silva, J. M., de Castro Dias, T. C. A., da Cunha, A. C. y Cunha, H. F. A. (2021). Funding deficits of protected areas in Brazil. *Land Use Policy*, 100, Article 104926. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104926>
- Carman, M. y González Carman, V. (2016). La fragilidad de las especies: tensiones entre biólogos y pescadores artesanales en torno a la conservación marina. *Etnográfica*, *20*(2), 411-438. <https://doi.org/10.4000/etnografica.4333>
- CBI (Climate Bonds Initiative). (2024). *México acumula 38.3 miles de millones de dólares en bonos temáticos hasta 2023*. <https://www.climatebonds.net/resources/press-releases/2024/08/m%C3%A9xico-acumula-383-miles-millones-de-d%C3%B3lares-en-bonos-tem%C3%A1ticos>
- CONABIO. (2023). *México megadiverso*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees>
- CONANP. (2024). *Áreas Naturales Protegidas*. Numeralia. <https://sig.conanp.gob.mx/General>
- Cumming, D., Meoli, M. y Vismara, S. (2021). Does equity crowdfunding democratize entrepreneurial finance? *Small Business Economics*, 56, 533-552. <https://doi.org/10.1007/s11187-019-00188-z>
- Díaz-Rodríguez, P., Rodríguez-Darias, A. J. y Arnaiz-Schmitz, C. (2024). Protected areas and their contribution to sustainable development. *Sustainability*, 16(5), Article 1763. <https://doi.org/10.3390/su16051763>
- Fondo Colombia Sostenible. (2023). *El Fondo en cifras*. <https://www.colombiasostenible.gov.co/fondo/el-fondo-en-cifras/>

- Fundación MAPFRE. (2025). *Seguros paramétricos: tendencias y nuestra visión en Mapfre*. <https://www.mapfre.com/actualidad/innovacion/seguros-parametricos-tendencias-2026-mapfre/>
- GBFF (Global Biodiversity Framework Fund). (2024). Fondo Marco Mundial para la Diversidad Biológica. <https://www.thegef.org/what-we-do/topics/global-biodiversity-framework-fund>
- GBM (Banco Mundial). (2023, 17 de noviembre). *¿Cómo funciona el nuevo mecanismo de financiamiento del Banco Mundial ligado al cumplimiento de metas ambientales?* [Información básica]. <https://www.bancomundial.org/es/news/factsheet/2023/11/17/como-funciona-el-nuevo-mecanismo-de-financiamiento-del-banco-mundial-ligado-al-cumplimiento-de-metas-ambientales>
- GCF (Green Climate Fund). (2025). *Green Climate Fund*. <https://www.greenclimate.fund/about>
- GEF (Global Environment Facility). (2024). *Who we are*. <https://www.thegef.org/projects-operations/database>
- GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). (2024). *México*. <https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html>
- Gobierno de México. (2018). *México, segundo lugar del mundo en bioculturalidad*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-segundo-lugar-del-mundo-en-bioculturalidad?idiom=es>
- Gobierno de México. (2021, 29 de marzo). *Plantas medicinales de México. La botica más surtida del país, enriquecida con la sabiduría de pueblos y comunidades indígenas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/plantas-medicinales-de-mexico>
- Guzmán, S., Velasco, A. y Barbosa, O. (2024). *Biodiversity finance in Mexico*. ODI. <https://odi.org/en/about/our-work/a-fair-share-of-biodiversityfinance>
- Hernández, B. (2020). *MRV de financiamiento climático en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Alianza del Pacífico. https://alianzapacifico.net/wp-content/uploads/MRV_de_Financiamiento_Climtico_en_Mexico.pdf
- IUCN. (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>
- Jarvis, A., Loboguerrero, A. M., Martínez-Baron, D., Prager, S., Villegas, J. R., Eitzinger, A., Born, L., Gonzalez, C. y Tarapues, J. (2020). Situación rural de América Latina y el Caribe con 2 grados de calentamiento. *Revista Compromiso Social*, 1(3), 90-115. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5042en>
- Lara-Lara, J. R., Arreola Lizárraga, J. A., Calderón Aguilera, L. E., Camacho Ibar, V. F., de la Lanza Espino, G., Escofet Giansone, A., Espejel Carbajal, M. I., Guzmán Arroyo, M., Ladah, L. B., López Hernández, M., Meling López, E. A., Moreno Casasola Barceló, P., Reyes Bonilla, H., Ríos Jara, E., y Zertuche González, J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En *Capital natural de México* (Vol. 1, pp. 109-134). CONABIO. http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I04_Losecosistemascos.pdf
- Llorente-Bousquets, J. y Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En *Capital natural de México* (Vol. 1, pp. 283-322). CONABIO. https://www.researchgate.net/publication/284222422_Estado_del_conocimiento_de_la_biota
- López, C. M. Á. (2024). *Estudio de los mecanismos de participación de la población indígena en Áreas Naturales Protegidas* (Tesis). Universidad de Guanajuato. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/13487>
- Martínez Guzmán, A. (2000). La información del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas en México: algunos usos y desafíos en la elaboración de estadísticas ambientales. *Papeles de población*, 6(24), 95-112. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252000000200005
- Medina, M. A. (2024). Evaluación de la eficiencia del financiamiento climático a través del mecanismo REDD+ en Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3045>

- Menezes, C. E. (2023). Political and institutional review for biodiversity financing in Brazil: A BIOFIN approach for the federal government. *Sustainability in Debate*, 14(1), 136-157. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v14n1.2023.43758>
- Morveli, V., Sarmiento Barletti, J. P. y Lasheras, T. (2023). *De la Convención a la práctica: Un análisis de la conceptualización, aplicación y operativización de las salvaguardas de Cancún para REDD+ en Perú*. CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor-icraf/008847>
- Naciones Unidas. (2024, 26 de noviembre). *BIOFIN y el IRRFF del PNUD premian a dos soluciones de aseguramiento enfocadas en sostenibilidad agrícola y protección de la naturaleza*. ONU México. <https://mexico.un.org/es/284486-biofin-y-el-irrff-del-pnud-premian-dos-soluciones-de-aseguramiento-enfocadas-en>
- NDC Partnership. (2024). *Countries are driving climate action*. <https://ndcpartnership.org/>
- Organización de Estados Iberoamericanos. (2024, 24 de julio). *La reestructuración del Fondo Amazonía protege a los donantes contra los cambios políticos, dice representante noruego*. <https://oei.int/oficinas/brasil/noticias/reestruturacao-do-fundo-amazonia-blinda-doadores-contra-mudancas-politicas-diz-representante-da-noruega/>
- Olivera, A. (2018, abril). *Mexico's 10 most iconic endangered species*. Center for Biological Diversity. <https://www.biologicaldiversity.org/programs/international/mexico/pdfs/English-Top-10-Endangered-Mexico.pdf>
- Pérez Báez, S. O., Ramos-Martín, A., Mendieta-Pino, C. y El Kori, N. (2023). *Guía de los fondos financieros para la realización de proyectos que enfoquen su objetivo en la mitigación al cambio climático dentro del ciclo integral del agua*. Macaronesia. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/127060/1/232ULPGC2.pdf>
- PNUD. (2018). *BIOFIN Executive Summary Phase I: Results and biodiversity finance solutions*. United Nations Development Programme. https://www.biofin.org/sites/default/files/content/knowledge_products/Executive%20Summary%20BIOFIN%20Phase%20I.pdf
- PNUD México. (2024). *Análisis de gasto público federal a favor de la biodiversidad 2022*. Proyecto Iniciativa Finanzas de Biodiversidad BIOFIN México fase II. https://www.biofin.org/sites/default/files/content/knowledge_products/050924_BER_Disen%CC%83o.pdf
- Ramirez, B., y Bunker, R. J. (Eds.). (2015). *Narco-submarines: Specially fabricated vessels used for drug smuggling purposes*. U.S. Army Foreign Military Studies Office. http://scholarship.claremont.edu/cgu_facbooks/30/
- Rossiter, D., Werren, K., Martin, P. y Ribeiro da Cruz Godoy, L. R. (2020). Funding biodiversity conservation. En *Achieving biodiversity protection in megadiverse countries* (pp. 188-209). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429296239-10>
- Samaniego, J. y Schneider, H. (2023). *Quinto informe sobre financiamiento climático en América Latina y el Caribe, 2013-2020*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/49085-quinto-informe-financiamiento-climatico-america-latina-caribe-2013-2020>
- Sanahuja, J. A. (2015). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: hacia una ética universalista del desarrollo global. *Razón y fe*, 272(1405), 367-381. <https://etica.uazuay.edu.ec/sites/etica.uazuay.edu.ec/files/public/La%20Agenda%202030%20y%20los%20Objetivos.pdf>
- Schneider, H. (2016). *Financiamiento internacional para el cambio climático en América Latina y el Caribe*. CAF. <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2028/Financiamiento%20para%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf?sequence=1>

- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2023). *Taxonomía Sostenible de México* (1ª ed.). <https://www.finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/work/models/finanzassostenibles/recursos/documentos/Taxonomia-Sostenible-de-Mexico.pdf>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2024). *Plataforma de Finanzas Sostenibles*. <https://www.finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/es/finanzassostenibles/fondos>
- SEMARNAT y CONANP. (2020). *Diagnóstico U040 Programa para la protección y restauración de ecosistemas y especies prioritarias (PROREST)*. Dirección General de Operación Regional. https://www.conanp.gob.mx/prorest/prorest2020/U040_DiagnosticoPROREST_Final.pdf
- Sosa, M. y Ivanova, A. (2025). Assessment of financing for biodiversity conservation in Mexico: Links between biodiversity and climate change adaptation funds. *Diversity*, 17(3), Article 185. <https://doi.org/10.3390/d17030185>
- Torres, D. del C., Carpio, J. L. y Castro, J. I. (2023). Pesca ilegal en México durante el periodo 2010-2022. Una exploración desde la criminología verde. *Revista Mexicana de Ciencias Penales*, 7(21), 119-144. <https://doi.org/10.57042/rmcp.v7i21.665>
- UK-Pact. (2025). *México-UK Pact*. <https://www.ukpact.co.uk/country-programme/mexico>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56(Suppl 1), s92-s98. <https://doi.org/10.21149/spm.v56s1.5171>
- Watson, C., Schalatek, L. y Evéquoz, A. (2022). *La arquitectura mundial del financiamiento para el clima*. Heinrich Böll Stiftung. https://us.boell.org/sites/default/files/uploads/2016/11/cff2_2016_arquitectura_esp.pdf
- WWF. (2024, 10 de octubre). *Declive de vida silvestre pone en peligro al planeta*. <https://www.wwf.org.mx/?391451/Declive-de-vida-silvestre-pone-en-peligro-al-planeta>
- Zhu, M. (2021). *La condicionalidad de los préstamos del Banco Mundial y del Banco Asiático de Inversión en infraestructura*. https://labordoc.ilo.org/permalink/41ILO_INST/1gggubv/cdi_univbarcelona_dspace_oai_diposit_ub_edu_2445_178806