



REVISTA ANÁLISIS ECONÓMICO

UAM - Azcapotzalco, División de Ciencias Sociales y Humanidades

Vol. 41, Enero – Abril de 2026, No. 106

SUMARIO

Presentación	3
Carlos Gómez Chiñas	
 ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Impactos del crédito bancario sobre el empleo sectorial en México, 2005-2024	9
Owen Eli Ceballos Mina	
Desempleo ampliado con subempleo: la Ley de Okun en México, 2005-2024	29
César Daniel Alvarado Gutiérrez y Juan Carlos Hurtado Ramos	
Factores de políticas públicas para promover la competitividad regional en México	45
Isaí Contreras Álvarez y Eric Israel Ríos Nequis	
Profundización financiera, innovación y tipo de cambio real: el caso de México y Corea del Sur, 1970-2020	65
Billy Josué Jiménez Díaz	
Is the brazilian exchange rate related to country risk? An uncovered interest parity approach	83
Alan Coaglio Silva Menezes, Mathias Schneid Tessmann & Luiz Augusto Ferreira Magalhães	

Volumen de transacciones, rendimientos y volatilidad del Bitcoin: Modelo de Heterocedasticidad Condicional Asimétrica (2017-2024)	107
--	------------

María Fernanda Urbán Cortés y Eduardo Rosas Rojas

Relación entre crecimiento económico y consumo de energéticos en América del Norte	125
---	------------

Francisco Antonio Martínez Hernández y Saúl Herrera Aguilar

Wage inequality of indigenous workers in Mexico	153
--	------------

Roberto Gallardo del Ángel, Mario Miguel Ojeda Ramírez
& Julia Aurora Montano Rivas

Desigualdades educativas intra-provinciales: un análisis de <i>clúster</i> para la provincia de La Rioja, Argentina (2022)	175
---	------------

Ernesto Gabriel Pizarro Levi y Germán Oscar Antequera

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Key technologies, challenges, and trends in electric vehicles: a systematic review	209
---	------------

Adriana Martínez Martínez, Alejandro García Garnica
& Samuel Estrada Jasso

Presentación

Con el número 106 que ahora se presenta, correspondiente al periodo enero-abril de 2026, se abre el volumen 41 de Análisis Económico.

En esta entrega se incluyen diez artículos de investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana, de la Universidad Autónoma del Estado de México, de la Universidad Autónoma de Baja California, del Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa – IDP, del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria-México, de la Universidad Nacional Autónoma de México, de la Universidad Veracruzana, de la Universidad Nacional de Chilecito (Argentina) y de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Abre el número el artículo “Impactos del crédito bancario sobre el empleo sectorial en México, 2005-2024” de Owen Eli Ceballos Mina de la Universidad Autónoma Metropolitana. Este artículo analiza los efectos del crédito bancario productivo sobre la población ocupada, la tasa de ocupación y la participación sectorial del empleo en México en el periodo 2005–2024. Se emplean datos trimestrales del financiamiento bancario y del mercado laboral de los sectores primario, secundario y terciario. Los resultados indican que, si bien el crédito bancario impulsa el empleo agregado, su impacto difiere entre sectores, siendo el secundario el que más contribuye a la creación de empleos.

Enseguida se presenta el trabajo “Desempleo ampliado con subempleo: la Ley de Okun en México, 2005-2024” de César Daniel Alvarado y Juan Carlos Hurtado Ramos, profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana el primero y alumno del Doctorado en Ciencias Económicas de la misma institución el segundo. Este trabajo analiza la medición del desempleo

en México mediante la ley de Okun, usando datos trimestrales de 2005.I a 2024.II y tres definiciones alternativas de desempleo: la tasa de desempleo abierto; una que incluye a personas disponibles, pero que no buscan empleo activamente; y otra que también incorpora el subempleo.

A continuación, se incluye el artículo “Factores de políticas públicas para promover la competitividad regional en México” de Isaí Contreras Álvarez y Eric Israel Ríos Nequis, de la Universidad Autónoma del Estado de México el primero y de la Universidad Autónoma de Baja California, el segundo. El objetivo es explorar los factores relacionados con la competitividad de las nueve entidades federativas líderes en México durante el periodo 2018-2023, a partir de los criterios de competitividad establecidos por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) y sus efectos en la actividad económica estatal, medida a través del Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE).

Posteriormente, se presenta el trabajo “Profundización financiera, innovación y tipo de cambio real: el caso de México y Corea del Sur, 1970-2020” de Billy Josué Jiménez Díaz de la Universidad Autónoma Metropolitana. El objetivo es analizar las implicaciones de la profundización financiera, la innovación tecnológica y la estructura de costos en la dinámica cambiaria. Mediante un modelo panel dinámico, se evalúa el impacto de la estructura financiera, la capacidad tecnológica y los costos laborales unitarios (CLU) sobre el tipo de cambio real (TCR), en 14 subsectores manufactureros de México y Corea del Sur, durante el periodo 1990-2020.

Enseguida se presenta el artículo “Is the Brazilian exchange rate related to country risk? An uncovered interest parity approach” de Alan Coaglio Silva Menezes, Mathias Schneid Tessmann & Luiz Augusto Ferreira Magalhães del Brazilian Institute of Education, Development and Research – IDP. Este artículo analiza el comportamiento del tipo de cambio nominal entre el real brasileño y el dólar estadounidense, adaptando el enfoque teórico de la paridad descubierta de intereses para verificar si el riesgo país influye en las variaciones del tipo de cambio. Los resultados sugieren que el tipo de cambio nominal se vio influido por sus retrasos y por el riesgo país.

A continuación, se incluye el artículo “Volumen de transacciones, rendimientos y volatilidad del Bitcoin: Modelo de Heterocedasticidad Condicional Asimétrica (2017-2024)” de María Fernanda Urbán Cortés y Eduardo Rosas Rojas, del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria-México la primera y de la Universidad autónoma del Estado de México, el segundo. El artículo analiza la relación entre el volumen de transacciones, la volatilidad y los rendimientos de Bitcoin, demostrando que la volatilidad suele estar sobreestimada cuando no se considera el volumen negociado. Se emplea el modelo asimétrico GJR-GARCH para capturar la dinámica de la volatilidad condicional y evaluar su reacción ante choques positivos y negativos.

Posteriormente, se incluye el trabajo “Relación entre crecimiento económico y consumo de energéticos en América del Norte” de Francisco Antonio Martínez Hernández y Saúl Herrera Aguilar, de la Universidad Autónoma Metropolitana el primero y de la Universidad Nacional Autónoma de México, el segundo. Este trabajo analiza la relación teórica y empírica entre el crecimiento económico y el consumo de energéticos para las tres economías de América del Norte: México, Estados Unidos y Canadá. Se concluye que existe una

creciente asimetría entre disponibilidad y demanda final de energía que afecta al crecimiento del país menos desarrollado, México.

Enseguida se presenta el artículo “Wage inequality of indigenous workers in Mexico” de Roberto Gallardo del Ángel, Mario Miguel Ojeda Ramírez & Julia Aurora Montano Rivas, todos de la Universidad Veracruzana. Se analiza la distribución salarial de los trabajadores indígenas y sus cambios a lo largo del tiempo. Ofrece un análisis de la desigualdad salarial para este tipo de trabajadores, en comparación con las personas no indígenas por tipo de ocupación. El objetivo principal es proporcionar alguna evidencia de que los salarios se han vuelto menos desiguales para ambos tipos de trabajadores en los últimos años.

A continuación, se presenta el trabajo “Desigualdades Educativas Intra-provinciales: Un análisis de *clúster* para la provincia de La Rioja, Argentina (2022)” de Ernesto Gabriel Pizarro Levi y Germán Oscar Antequera, ambos de la Universidad Nacional de Chilecito, Argentina. Los autores analizan las desigualdades educativas en el nivel secundario de la provincia de La Rioja, enfocándose en la indagación de las disparidades existentes a escala departamental. Se busca identificar las desigualdades educativas en sus dimensiones de acceso y permanencia, calidad y rendimiento, entorno y condición socioeconómica de los estudiantes. La metodología empleada consiste en un análisis de *clústeres* jerárquicos, utilizando datos provenientes de pruebas educativas estandarizadas y del Censo Nacional.

Cierra el número el artículo de revisión “Key technologies, challenges, and trends in electric vehicles: a systematic review” de Adriana Martínez Martínez, Alejandro García Garnica y Samuel Estrada Jasso, de la Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad León, UNAM la primera, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos el segundo y egresado de la Escuela

Nacional de Estudios Superiores unidad León, UNAM el Tercero. Este estudio analiza tecnologías clave, desafíos y tendencias en el desarrollo de vehículos eléctricos (VEs) mediante una revisión sistemática de la literatura (2010-2025) siguiendo la metodología PRISMA. Se examinan avances en baterías, infraestructura de carga, gestión de energía y manufactura sostenible.

Con este volumen se inicia el proceso de publicación continua, con el objetivo de que el proceso de publicación sea más expedito y que los trabajos se den a conocer una vez que se concluya de manera plena el proceso editorial, sin esperar a que se reúnan los diez trabajos que tradicionalmente constituían un número. En este volumen se realizarán tres cortes, que respetan la numeración anterior.

Dr. Carlos Gómez Chiñas
Director de Análisis Económico

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Impactos del crédito bancario sobre el empleo sectorial en México, 2005-2024

Impacts of bank credit on sectoral employment in Mexico, 2005-2024

Owen Eli Ceballos Mina *

*Profesor investigador del Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana.
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de la SECIHTI.
Correo electrónico: oecm@azc.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1931-8388>

RESUMEN

El financiamiento de la estructura productiva es un elemento fundamental para potenciar la capacidad de los sectores económicos para generar empleo. Este artículo analiza los efectos del crédito bancario productivo sobre la población ocupada, la tasa de ocupación y la participación sectorial del empleo en México en el periodo 2005–2024. Se emplean datos trimestrales del financiamiento bancario y del mercado laboral de los sectores primario, secundario y terciario. Con estos datos, se estiman modelos autorregresivos de rezagos distribuidos (ARDL) que permiten identificar relaciones de corto y largo plazo entre el crédito y los indicadores laborales. Los resultados indican que, si bien el crédito bancario impulsa el empleo agregado, su impacto difiere entre sectores. El sector secundario es el principal motor sostenido de creación de empleo, mientras que el terciario destaca por su elasticidad y fortalecimiento relativo dentro la estructura laboral. Estos hallazgos subrayan la necesidad de diseñar políticas de financiamiento productivo que prioricen no solo el volumen del crédito, sino su orientación estratégica sectorial para maximizar los impactos positivos sobre el mercado laboral mexicano.

ABSTRACT

The financing of the productive structure is a fundamental element for enhancing the capacity of economic sectors to generate employment. This article analyzes the effects of productive bank credit on the number of employed persons, the employment rate, and the sectoral employment share in Mexico during the period 2005–2024. Quarterly data on bank financing and labor market indicators from the primary, secondary, and tertiary sectors are used. Using these data, Autoregressive Distributed Lag (ARDL) models are estimated to identify short- and long-term relationships between credit and labor indicators. The results indicate that while bank credit stimulates aggregate employment, its impact differs across sectors. The secondary sector is the main sustained engine of job creation, whereas the tertiary sector stands out for its elasticity and proportional strengthening within the labor structure. These findings highlight the need to design productive financing policies that prioritize not only the volume of credit but also the strategic sectoral orientation of credit to maximize the positive impacts on the Mexican labor market.

Recibido: 12/mayo/2025
Aceptado: 17/junio/2025
Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Crédito | Empleo |
| Participación del empleo
sectorial | Modelos
dinámicos |

Keywords:

| Credit | Employment |
| Sectoral employment
share | Dynamic
models |

Clasificación JEL |
JEL Classification |
C32, E24, E51, J21



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

INTRODUCCIÓN

El financiamiento bancario es un componente estratégico para el fortalecimiento de las estructuras productivas, al facilitar la asignación eficiente de recursos hacia actividades económicas generadoras de empleo (Beck *et al.*, 2008; Rajan y Zingales, 1998). El crédito no solo actúa como un lubricante de la economía, sino que también estimula la acumulación de capital y la expansión de la capacidad instalada en los sectores económicos (Levine, 2005; IMF, 2018).

El financiamiento sectorial se perfila como un factor clave para el desarrollo económico, con efectos diferenciados según la estructura productiva y la capacidad de absorción de cada sector. En sectores industriales, suele financiar inversiones en capital fijo, ampliación de plantas y modernización tecnológica, mientras que en los servicios impulsa expansiones operativas, contratación y diversificación de actividades (Gutiérrez *et al.*, 2023; Arabzadeh *et al.*, 2020).

Los mecanismos a través de los cuales el crédito influye en el empleo sectorial incluyen el financiamiento de nuevas contrataciones, la inversión en proyectos expansivos y la mejora en la liquidez operativa (Popov y Rocholl, 2015; Malkova *et al.*, 2021). No obstante, estos efectos varían: mientras algunos sectores traducen el crédito en generación directa de empleo, otros lo canalizan hacia estrategias tecnológicas y organizacionales que no incrementan proporcionalmente la demanda laboral (Fonseca y Van Doornik, 2019).

El sistema financiero mexicano ha crecido y se ha transformado sustancialmente en las últimas décadas, pero la evidencia empírica aún señala un aparato crediticio concentrado, segmentado y poco incluyente, donde predominan patrones de asignación asimétrica hacia sectores menos riesgosos (Ibarra, 2020). En México, aproximadamente el 40 % del financiamiento a los sectores productivos (\$3.4 billones) proviene del canal bancario, mientras el resto procede de la emisión de deuda interna de las empresas y de fuentes externas (Banxico, 2024). A pesar del incremento del crédito a empresas, los indicadores laborales como la ocupación y la participación del empleo sectorial han mostrado desempeños heterogéneos entre ramas de actividad (Bai *et al.*, 2018; Busso *et al.*, 2012).

Analizar el crédito bancario productivo adquiere particular relevancia en una economía como la mexicana, donde coexisten sectores altamente productivos y tecnificados con otros marcadamente rezagados en acceso al financiamiento (Benmelech *et al.* 2021; Clavellina, 2013). El avance del terciario como sector dominante y los desafíos persistentes en el sector primario y secundario plantean preguntas sobre cómo el crédito incide de forma diferenciada en la generación de empleo y evolución de la estructura laboral (Loría *et al.*, 2012; Hernández, 2015).

Aunque la literatura internacional ha documentado ampliamente la relación entre crédito, crecimiento económico y empleo (Aghion *et al.*, 2004; Beck *et al.*, 2008), existe una brecha importante en el entendimiento de cómo estos efectos operan a nivel sectorial, especialmente en economías emergentes. En México, la mayoría de los estudios se han centrado en los agregados macroeconómicos, descuidando los análisis desagregados necesarios para identificar las dinámicas específicas por sector económico (De la Cruz y Veintimilla, 2013; OECD, 2022).

Analizar la relación entre el crédito bancario y los indicadores de empleo permite explorar si el financiamiento productivo dinamiza el mercado laboral en distintos horizontes temporales (Rivadeneira *et al.*, 2024). Teóricamente, el crédito reduce restricciones presupuestarias, impulsa la inversión y eleva la demanda de trabajo (Blanchard y Johnson, 2013; Boscán y Sandra, 2009). En contextos como el mexicano, marcados por subempleo estructural, se espera que la expansión de la capacidad productiva vía financiamiento genere incrementos sostenidos en la ocupación, especialmente en sectores donde el crédito se destina intensivamente a capital de trabajo y contratación (Gutiérrez *et al.*, 2023).

Comprender los efectos diferenciados del crédito sobre el empleo sectorial no solo aporta evidencia académica y tiene implicaciones de política pública, ya que permite orientar el financiamiento hacia sectores con mayor impacto multiplicador (Canavire y Rioja, 2009; Pérez y Titelman, 2018). Las políticas homogéneas, en cambio, corren el riesgo de ser ineficientes al ignorar las especificidades sectoriales. Este estudio busca responder a preguntas clave: ¿cómo incide el crédito bancario productivo en el número de ocupados, la tasa de

ocupación y la participación del empleo sectorial? ¿Estos efectos son consistentes en el corto y largo plazo? ¿Qué sectores muestran mayor sensibilidad al financiamiento bancario en México?

El objetivo principal es estudiar los efectos del crédito bancario sobre tres indicadores del mercado laboral —número de ocupados, tasa de ocupación y participación sectorial del empleo— a partir de un panel trimestral para el periodo 2005–2024. La información del crédito bancario por sector económico (primario, secundario y terciario) proviene del Banco de México (Banxico) y se vincula con los datos de las Encuestas Nacionales de Ocupación y Empleo (ENOE) y del Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE), ambos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La estrategia metodológica se basa en la estimación de modelos dinámicos autorregresivos de rezagos distribuidos ARDL (*Autoregressive Distributed Lags*) estimados con el método de medias agrupadas conjuntas PMG (*Pooled Mean Group*) para paneles, que permite diferenciar sistemáticamente las relaciones de corto y largo plazo entre las variables de interés, reconociendo las inercias temporales y posibles heterogeneidades de los efectos entre sectores de actividad económica. La elección del modelo ARDL-PMG responde a la naturaleza no estacionaria de algunas series y a la posibilidad de identificar las dinámicas de equilibrio a largo plazo entre el financiamiento sectorial y las variables laborales reconociendo la heterogeneidad sectorial.

A diferencia de métodos como el Método Generalizado de Momentos GMM para datos de panel, el modelo ARDL permite capturar de manera más precisa las relaciones dinámicas, incluso cuando las series están integradas de orden distinto (Pesaran *et al.*, 1999). Para dar robustez a la estrategia metodológica, primero se realizan las pruebas de raíz unitaria en panel usando dos estrategias complementarias para posteriormente dar paso a las estimaciones ARDL-PMG y el cálculo de las elasticidades diferenciando por sector de actividad económica.

Los resultados muestran que el crédito sectorial tiene un impacto positivo sobre el empleo, aunque con importantes diferencias entre sectores. En general, el crédito impulsa el crecimiento de la población ocupada, con mayor intensidad en el sector secundario, mientras que el terciario destaca por su alta elasticidad y fortalecimiento proporcional dentro de la estructura laboral. En contraste, el sector primario presenta efectos modestos, reflejando limitaciones estructurales en su capacidad para absorber financiamiento bancario de forma productiva. Estos hallazgos subrayan la necesidad de diseñar políticas de financiamiento productivo diferenciadas por sector, priorizando no solo el volumen del crédito, sino también su orientación estratégica sectorial.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se presenta una revisión de la literatura que documenta los vínculos entre crédito bancario y empleo en contextos emergentes, con énfasis en América Latina y México. En la segunda sección se describe la construcción del panel de datos, las variables utilizadas y las pruebas de estacionariedad correspondientes. En la tercera sección se desarrolla el diseño econométrico y se presentan los resultados de los modelos ARDL. Finalmente, se discuten las implicaciones de los hallazgos para la política económica, en lo referente al papel del crédito en el fortalecimiento de la dinámica laboral sectorial en México.

I. FINANCIAMIENTO PRODUCTIVO Y EMPLEO: MECANISMOS TEÓRICOS Y EVIDENCIA EMPÍRICA

El financiamiento productivo, particularmente el crédito bancario sectorial, se considera fundamental para dinamizar la estructura económica y fortalecer la generación de empleo (Beck, *et al.*, 2005; Levine, 2005; Rajan y Zingales, 1998). Canalizar recursos financieros hacia actividades generadoras de valor agregado

permite no solo expandir la inversión y modernizar capacidades, sino también aumentar la demanda laboral, contribuyendo así al crecimiento económico sostenido (Aghion *et al.*, 2004). Según la literatura, estos efectos no son automáticos ni homogéneos; dependen críticamente de la estructura productiva, la orientación sectorial del crédito y los mecanismos de absorción laboral presentes en cada rama económica (Prebisch, 1981; Fonseca y Van Doornik, 2019).

Desde la perspectiva del canal crediticio, se sostiene que las imperfecciones de los mercados financieros amplifican los efectos del financiamiento en la producción, dado que el acceso al crédito reduce restricciones presupuestarias, facilita la acumulación de capital físico y humano, y eleva la demanda agregada de trabajo (Bernanke y Gertler, 1995; Fried y Howitt, 1980). Modelos como el de Galor y Zeira (1993) destacan cómo las restricciones crediticias no solo limitan la inversión empresarial, sino también perpetúan desigualdades estructurales que restringen las oportunidades de crecimiento inclusivo.

Esta perspectiva es relevante no solo a nivel teórico, sino también en los análisis regionales realizados por organismos como la CEPAL y el BID, que documentan cómo en América Latina persisten desequilibrios históricos entre sectores tecnificados y sectores primarios o tradicionales con menor acceso financiero (Gómez *et al.*, 2019). La teoría estructuralista ha enfatizado que el impacto del crédito depende de la composición sectorial.

Según la literatura especializada, los sectores manufactureros suelen destinar recursos financieros a inversiones de largo plazo, con efectos multiplicadores sostenidos, mientras que los servicios priorizan el capital de trabajo y las expansiones operativas, generando impactos inmediatos, pero menos persistentes (Arabzadeh *et al.*, 2020; Fonseca y Van Doornik, 2019). El sector primario, en contraste, enfrenta limitaciones derivadas de su informalidad, riesgos productivos y fragmentación institucional, lo que restringe su capacidad para transformar crédito en empleo de calidad (Rivadeneira *et al.*, 2024; Pérez y Titelman, 2018).

La evidencia internacional refuerza esta visión diferenciada. Fonseca y Van Doornik (2019) muestran que, en Brasil, las expansiones crediticias, tras reformas regulatorias, estimularon el empleo manufacturero, mientras que los impactos en los servicios fueron moderados y menos persistentes. Investigaciones del Banco Interamericano de Desarrollo en Uruguay, revelan que las limitaciones crediticias golpean particularmente a las pequeñas empresas, afectando sus planes de inversión y contratación, lo que amplifica desigualdades intersectoriales (Gandelman y Rateletti, 2012). El FMI ha señalado que las reformas que optimizan la asignación sectorial del crédito pueden acelerar la transición hacia estructuras productivas más eficientes, generando empleo de calidad y reduciendo vulnerabilidades estructurales (Kouamé y Tapsoba, 2018).

Diversos estudios en América Latina advierten sobre los patrones sesgados de asignación del crédito. De forma reciente, Gómez *et al.* (2019) encuentran que los flujos financieros tienden a concentrarse en sectores de bajo riesgo, como servicios financieros y manufacturas exportadoras, mientras que sectores con alto potencial de absorción laboral, como la construcción, los alimentos procesados o los servicios comunitarios, reciben proporcionalmente menos financiamiento. Este sesgo no solo limita la capacidad del crédito para generar empleo inclusivo, sino que también refuerza estructuras productivas desiguales, restringiendo el impacto multiplicador del financiamiento sobre la economía real (Canavire y Rioja, 2009; Ferraro *et al.*, 2011).

En México, los estudios empíricos destacan cómo la disponibilidad y orientación del crédito afecta diferencialmente a las ramas productivas. Según Gutiérrez *et al.* (2023), los choques positivos en la oferta de crédito tienden a impulsar el empleo en industrias manufactureras, destacando cómo la intensidad de capital y los encadenamientos productivos amplifican estos efectos.

Rivadeneira *et al.* (2024) analizan cómo la pandemia de COVID-19 amplificó las restricciones crediticias, afectando principalmente a pequeñas y medianas empresas en sectores no esenciales, lo que generó caídas pronunciadas en el empleo. Otros estudios advierten que la orientación estratégica del crédito en México ha favorecido históricamente a los grandes conglomerados industriales y financieros, mientras que los sectores agrícolas y comunitarios han quedado rezagados en términos de acceso y capacidad de absorción (Ibarra-Olivo *et al.*, 2021; Bazdresch, 2018).

Romero (2022) analiza cómo los programas de financiamiento han tendido a concentrarse en actividades de alta rentabilidad, mientras que los sectores con potencial social, como los servicios educativos y de salud, reciben una proporción marginal de los recursos. Esta desigualdad en la distribución del crédito reduce las oportunidades de diversificación productiva y limita el impacto del financiamiento. Para otros países de América Latina, estudios de la CEPAL destacan que los programas de banca de desarrollo en países como Colombia, Chile y Brasil han tenido efectos positivos al diseñar líneas de crédito diferenciadas para sectores estratégicos; en especial, cuando se acompañan de políticas complementarias que fortalecen las capacidades productivas locales (Pérez y Titelman, 2018; Ferraro *et al.*, 2011).

La literatura empírica sugiere que para capturar correctamente estos efectos es recomendable adoptar enfoques dinámicos que distingan impactos inmediatos (asociados al capital de trabajo) de efectos acumulativos (derivados de las inversiones de largo plazo), y que reconozcan explícitamente la heterogeneidad sectorial (Popov y Rocholl, 2015; Pesaran *et al.*, 1999). Los análisis agregados, aunque útiles, pueden ocultar dinámicas distributivas relevantes: por ejemplo, un aumento general del empleo asociado al crédito puede enmascarar efectos concentrados en unos pocos sectores, dejando a otros marginados de los beneficios financieros. Ignorar estas dimensiones, según Fonseca y Van Doornik (2019) y Arabzadeh *et al.* (2020), puede llevar a diagnósticos incompletos y a recomendaciones de política ineficaces.

Por lo tanto, el análisis del crédito como motor del empleo debe entenderse no solo como una cuestión de volumen financiero, sino como un proceso de asignación estratégica dentro de una estructura productiva heterogénea y desigual. Los debates recientes en América Latina sugieren que fortalecer la banca de desarrollo, diseñar instrumentos de crédito diferenciados por sector y promover mecanismos de inclusión financiera son elementos clave para potenciar los efectos multiplicadores del financiamiento sobre el empleo y la productividad (Pérez y Titelman, 2018; Gómez *et al.*, 2019). La experiencia comparada indica que no basta con expandir la cantidad de crédito disponible: es imprescindible alinear estos flujos con los motores productivos de mayor impacto social y laboral, para asegurar que el financiamiento actúe como una palanca real de desarrollo inclusivo.

En resumen, la revisión teórica y empírica internacional y regional muestra que los efectos del crédito sobre el empleo son dinámicos, heterogéneos y profundamente condicionados por la orientación sectorial y la estructura productiva. Las evidencias recientes en América Latina, y particularmente en México, resaltan la urgencia de examinar cómo los flujos financieros se distribuyen entre sectores y cómo esa distribución moldea las oportunidades laborales.

Este enfoque no solo enriquece los análisis académicos, sino que también abre la puerta a debates críticos sobre política pública: ¿qué tipos de programas financieros pueden amplificar los impactos positivos del crédito?, ¿cómo evitar que los beneficios se concentren en sectores ya privilegiados?, ¿y cómo diseñar mecanismos para que los sectores rezagados, como el agrícola y los servicios sociales, puedan integrarse plenamente en las dinámicas de crecimiento impulsadas por el financiamiento? Estas preguntas conectan directamente con los desafíos actuales de desarrollo en México y América Latina. Analizar las relaciones entre crédito y empleo con un enfoque sectorial es un ejercicio necesario para diseñar políticas de financiamiento productivo estratégicas e inclusivas.

Las lecciones que pueden derivarse de este análisis tienen el potencial de orientar reformas que fortalezcan la banca de desarrollo, amplíen el acceso financiero para las pequeñas y medianas empresas, y logren transformar el crédito bancario en un motor efectivo de generación de empleo, productividad y bienestar social. Este trabajo se inserta en estos debates, buscando aportar evidencia empírica diferenciada para México y ofreciendo elementos analíticos que pueden contribuir tanto al avance académico como a la formulación de políticas públicas efectivas.

II. PANEL DE DATOS: DESCRIPTIVOS Y ANÁLISIS EXPLORATORIO

Para contrastar la hipótesis empírica, se integró un conjunto de datos panel con 7,488 observaciones, correspondientes a 78 trimestres entre el primer trimestre 2005 y el tercero de 2024,¹ para las 32 entidades federativas del país, agrupando los datos en tres grandes sectores de actividad económica: primario, secundario y terciario (véase Anexo A). Las variables de empleo provienen de la ENOE (2024), mientras que las series sobre la actividad económica (ITAE) y el financiamiento bancario se obtuvieron, respectivamente, de las cuentas nacionales del INEGI (2024) y de los datos disponibles en Banxico (2024).

Este conjunto de información permite identificar patrones diferenciados entre sectores, analizar tendencias temporales y capturar heterogeneidades estructurales relevantes para evaluar el impacto del crédito productivo sobre la población ocupada, la tasa de ocupación y la participación sectorial, controlando por la evolución de la actividad económica estatal. Incorporar el ITAE como variable de control evita atribuir al crédito los posibles efectos de ciclos productivos estatales más amplios derivados de choques exógenos (por ejemplo, cambios en el PIB local, dinámica comercial internacional o impactos sectoriales amplios); es decir, la variable contribuye a aislar los efectos específicos del crédito bancario sobre los indicadores laborales.

La Tabla 1 presenta los descriptivos básicos de las principales variables de análisis, desagregadas por sector. En promedio, el sector terciario concentra la mayor parte de la población ocupada, seguido por el secundario, mientras que el primario presenta un rezago persistente. La tasa de ocupación definida como el cociente entre la población ocupada y la económicamente activa, no varía a nivel sectorial en panel, pero sí por entidad federativa y a lo largo del tiempo. Por otro lado, la participación relativa del empleo evidencia profundas asimetrías: el sector terciario agrupa cerca del 62% del empleo, frente al 25% del sector secundario y apenas el 13% del primario.

En cuanto al crédito bancario, los montos promedio otorgados al sector terciario son catorce veces mayores que los del sector primario; sin embargo, es el sector secundario el que registra el mayor volumen de financiamiento relativo por trabajador. Cabe señalar que la variable de crédito usada en el análisis corresponde a la suma de los montos otorgados por la banca comercial y la banca de desarrollo. Estas desigualdades, observadas tanto en la estructura de empleo como en la distribución del crédito, sugieren que los efectos del financiamiento productivo sobre los indicadores laborales podrían variar sustancialmente entre sectores, lo que justifica la aplicación de un análisis econométrico diferenciado.

1. Se omitió el segundo trimestre de 2020, ya que, debido a las restricciones sanitarias por el COVID-19, la Encuesta Telefónica de Ocupación y Empleo (ETOE 2T2020) substituyó temporalmente a la ENOE, lo que generó un quiebre en la homogeneidad de la serie para el periodo analizado.

Tabla 1
Empleo, financiamiento productivo, actividad económica y escolaridad.
Media nacional por sector de actividad (T1-2005/T3-2024)

<i>Variables</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Sector Primario</i>	<i>Sector Secundario</i>	<i>Sector Servicios</i>
<i>Población ocupada (empleo)</i>	<i>Media</i>	200,467.00	387,025.00	955,894.00
	<i>Error estándar</i>	(3,974.00)	(6,830.00)	(18,480.00)
<i>Tasa de ocupación*</i>	<i>Media</i>	95.93%	95.93%	95.93%
	<i>Error estándar</i>	(0.03)	(0.03)	(0.03)
<i>Tasa de participación del empleo</i>	<i>Media</i>	12.90%	24.92%	61.54%
	<i>Error estándar</i>	(0.19)	(0.13)	(0.16)
<i>Crédito bancario</i>	<i>Media</i>	2,187.83	27,667.46	30,809.64
	<i>Error estándar</i>	(54.68)	(1,686.81)	(1,853.80)
<i>ITAE</i>	<i>Media</i>	93.04	95.63	90.09
	<i>Error estándar</i>	(0.52)	(0.42)	(0.22)
<i>Trimestres/Entidades</i>		78/32	78/32	78/32
* La tasa de ocupación es la población ocupada entre la población económicamente activa, por lo que en el panel no varía a nivel sector.				

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

Estas diferencias sectoriales en la asignación del crédito y en la estructura del empleo, junto con la naturaleza temporal del conjunto de datos, hacen necesario evaluar las propiedades estadísticas de las series antes de estimar los modelos econométricos. En particular, resulta fundamental establecer si las variables de interés presentan comportamiento estacionario o no, ya que ello determina la estrategia adecuada para identificar relaciones dinámicas de corto y largo plazo entre el financiamiento y los indicadores laborales. En paneles extensos (largos) como el de este estudio, asegurar la validez de los supuestos estadísticos es indispensable para evitar inferencias espurias.

Con este propósito, se aplicaron dos pruebas complementarias de raíz unitaria en panel: la prueba ADF (*Augmented Dickey-Fuller*), que permite evaluar la estacionariedad de cada serie en forma individual, y la prueba CAD/CIPS (*Cross-sectionally Augmented IPS*), desarrollada por Pesaran (2007), la cual es adecuada para paneles desbalanceados y controla explícitamente la posible dependencia transversal entre unidades, es decir, la correlación entre sectores y entidades federativas a lo largo del tiempo. El uso de ambas pruebas ofrece una evaluación más robusta; en ambos casos se consideraron hasta cuatro rezagos por variable con el fin de capturar la dinámica temporal relevante y asegurar la ausencia de autocorrelación en los residuos, mejorando la confiabilidad.

La Tabla 2 presenta las dos pruebas de raíz unitaria en panel. Los resultados muestran que, en niveles, tres de las variables —logaritmo del crédito, logaritmo del empleo y participación sectorial— presentan evidencia conjunta de no estacionariedad, ya que no se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria en al menos una de las dos pruebas. No obstante, al aplicar primeras diferencias, ambas pruebas confirman la estacionariedad de todas las series en diferencias. Este hallazgo es metodológicamente relevante, ya que respalda la aplicación de modelos dinámicos ARDL que admiten la inclusión simultánea de variables estacionarias e integradas de primer orden, y a su vez permite estimar relaciones de equilibrio de largo plazo de forma consistente y robusta.

Tabla 2
Pruebas de raíces unitarias en panel: ADF y CAD-IPS

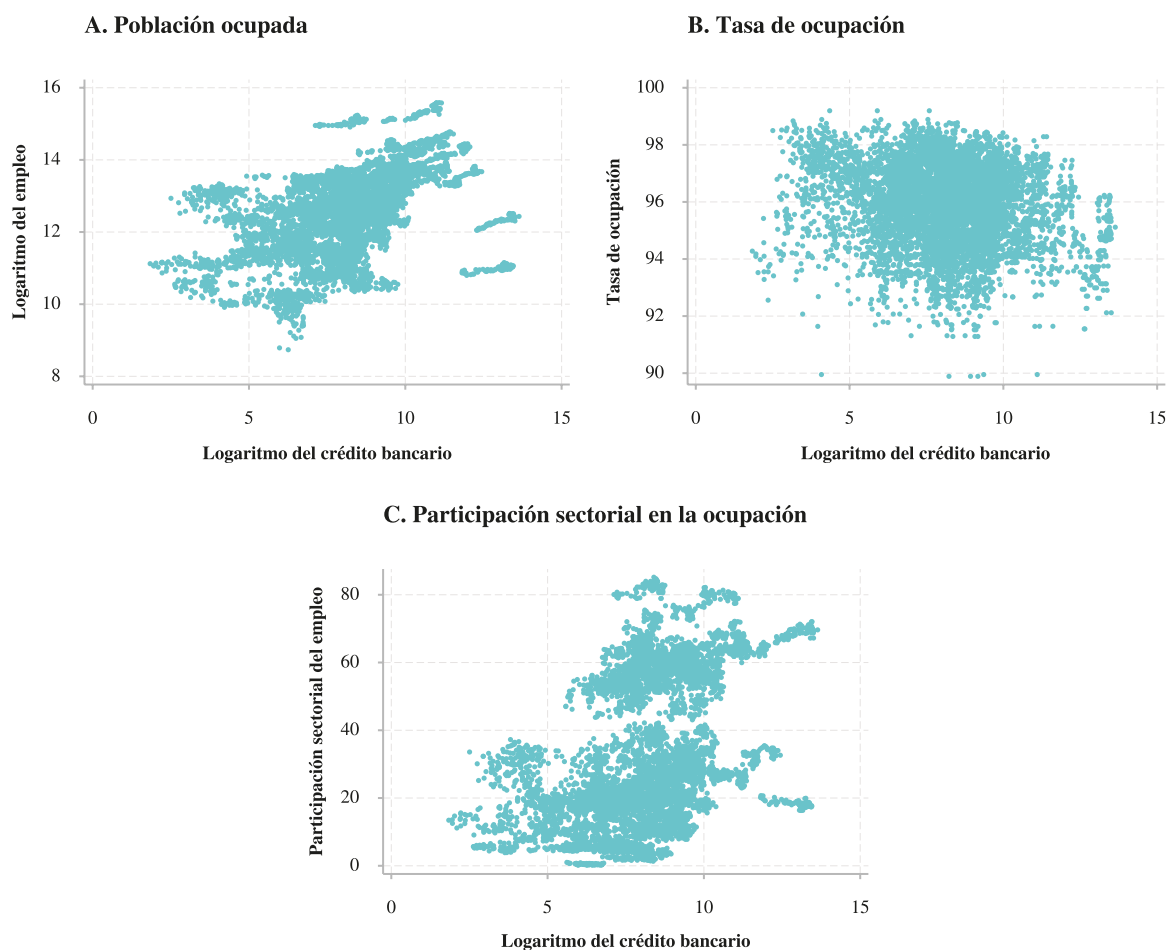
<i>Variables en niveles</i>				
<i>Variables</i>	<i>Prueba ADF*</i>		<i>Prueba CAD-IPS**</i>	
	Adjusted t	P-valor	Z-t-bar	P-valor
<i>Logaritmo del empleo</i>	141.63	0.9975	-6.405	0.0000
<i>Tasa de ocupación</i>	684.01	0.0000	-5.266	0.0000
<i>Tasa de participación</i>	981.45	0.0000	-1.030	0.1510
<i>Logaritmo del crédito</i>	341.96	0.0000	-0.859	0.1950
<i>ITAE</i>	1,902.06	0.0000	-3.616	0.0000
<i>Primeras diferencias: estacionariedad</i>				
<i>Variables</i>	<i>Prueba ADF*</i>		<i>Prueba CAD-IPS**</i>	
	Adjusted t	P-valor	Z-t-bar	P-valor
<i>Logaritmo del empleo</i>	1,828.84	0.0000	-28.767	0.0000
<i>Tasa de ocupación</i>	9,536.47	0.0000	-22.727	0.0000
<i>Tasa de participación</i>	8,475.12	0.0000	-22.794	0.0000
<i>Logaritmo del crédito</i>	7,357.63	0.0000	-17.677	0.0000
<i>ITAE</i>	7,735.89	0.0000	-19.381	0.0000

** Prueba Dickey Fuller Aumentada (ADF) con Ho: el panel contiene raíz unitaria y Ha: el panel es estacionario. Prueba *Cross-sectionally Augmented Im-Pesaran-Shin* (CAD-IPS) con Ho: todos los paneles contienen raíz unitaria y Ha: algunos paneles son estacionarios. Todas las pruebas analizadas hasta el cuarto rezago de cada variable.

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

Como estrategia complementaria, la Figura 1 presenta un análisis gráfico exploratorio que muestra las correlaciones bivariadas entre las tres variables dependientes —logaritmo del empleo, tasa de ocupación y participación sectorial— y el logaritmo del crédito, organizadas en tres paneles: A. Población ocupada (empleo), B. Tasa de ocupación, y C. Participación sectorial. En los paneles A y C se observa un patrón claro de correlación positiva, donde mayores niveles de crédito bancario están asociados con mayores niveles de empleo agregado y participación sectorial, lo que sugiere un vínculo preliminar positivo entre el financiamiento y la dinámica laboral. En contraste, el panel B muestra un patrón de nube dispersa sin tendencia aparente, indicando que no existe una relación aparente entre el crédito y la tasa de ocupación.

Figura 1
Indicadores de empleo y crédito bancario en México



Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE y Banxico (2024).

Este análisis, aunque descriptivo, refuerza la necesidad de aplicar herramientas econométricas más sofisticadas para identificar relaciones causales robustas y diferenciar efectos de corto y largo plazo, atendiendo a la heterogeneidad sectorial detectada. En conjunto, los resultados descriptivos y de estacionariedad confirman la necesidad de emplear un enfoque dinámico y sectorialmente diferenciado. El análisis exploratorio muestra indicios de correlación entre el financiamiento bancario y las dimensiones del empleo, aunque con comportamientos distintos por indicador. A partir de esta evidencia preliminar, en el siguiente apartado se presenta la estrategia de estimación econométrica.

III. ESTIMACIONES DEL EMPLEO EN FUNCIÓN DEL CRÉDITO BANCARIO

En esta sección se presenta la estrategia de estimación econométrica y los resultados obtenidos como evidencia del contraste empírico de relaciones dinámicas entre el crédito bancario sectorial y tres indicadores de empleo en México para el periodo 2005-2024. La sección se desarrolla en dos subapartados; en el primero

se presentan los detalles metodológicos de los modelos panel dinámicos con rezagos distribuidos de medias agrupadas conjuntas ARDL-PMG; y en el segundo, se exponen los resultados de las estimaciones.

Estrategia econométrica: modelo ARDL-PMG

Los mecanismos teóricos revisados en este trabajo, la evidencia de correlaciones en los descriptivos y la disponibilidad de un panel largo permite emplear un enfoque dinámico como el ARDL propuesto por Pesaran *et al.* (1999), que incorpora la dependencia temporal de la variable explicada por medio de sus rezagos facilitando la identificación de procesos de ajuste hacia un equilibrio. Además, el estimador PMG admite la posibilidad de controlar por la heterogeneidad en las dinámicas de corto plazo entre entidades federativas y sectores, permitiendo estimar coeficientes comunes en las relaciones de largo plazo de forma consistente. La especificación general del modelo se expresa:

$$y_{it} = \sum_{j=1}^p \vartheta_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \theta'_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde y_{it} es la variable dependiente (indicador laboral: logaritmos de número de ocupados, tasa de ocupación y participación sectorial del empleo) para el estado y sector i en el periodo t ; $X_{i,t-j}$ es un vector de variables explicativas rezagadas que incluye el logaritmo del crédito bancario y el ITAEE como control; μ_i representa efectos específicos no observados; y ε_{it} es el término de error.

Cuando las variables son cointegradas la especificación ARDL se transforma en un modelo de corrección de error (ECM), que permite distinguir explícitamente entre efectos de corto y largo plazo:

$$\Delta y_{it} = \alpha_i (y_{i,t-1} - \beta'_i H_{it}) + \sum_{j=1}^{p-1} \vartheta_{ij}^* \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \theta'_{ij} \Delta H_{i,t-j} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

donde el parámetro α_i es el término de corrección de error (ECT), que mide la velocidad de ajuste ante una desviación del equilibrio de largo plazo. Un valor negativo, significativo y menor a uno indica que las variables retornan al equilibrio, confirmando la existencia de cointegración entre las variables. Esta propiedad es especialmente útil para evaluar si el crédito bancario induce efectos laborales sostenidos más allá de las fluctuaciones coyunturales.

Cabe mencionar que la robustez metodológica del estudio se fortalece al estimar especificaciones por separado para cada uno de los tres indicadores laborales —población ocupada, tasa de ocupación y participación sectorial— y para cada uno de los sectores económicos, lo que permite una lectura comparativa clara de los efectos del crédito tal y como se presenta en los siguientes subapartados.

Resultados de las estimaciones ARDL

En este subapartado se presentan los principales hallazgos acerca de los efectos del crédito bancario sobre tres indicadores clave del mercado laboral en México: logaritmo de la población ocupada, tasa de ocupación y tasa de participación sectorial del empleo. Se inicia con la exposición de los resultados de largo y corto plazo para el conjunto nacional y luego por sector de actividad.

Efectos de largo y corto plazo en el agregado nacional

A nivel nacional, las estimaciones ARDL-PMG en la Tabla 3 confirman que el crédito bancario productivo tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre el número de ocupados. El coeficiente principal (0.101, $p < 0.01$) indica que mayores flujos de financiamiento están asociados con incrementos sostenidos en

el empleo total. Este efecto no es inmediato, sino acumulativo: tanto el primer como el segundo rezago del crédito muestran coeficientes positivos, sugiriendo que la creación de empleo responde progresivamente a inversiones financiadas, proyectos productivos y ampliaciones operativas.

Para la tasa de ocupación, la relación con el crédito presenta una dinámica no lineal. El efecto contemporáneo y el primer rezago son negativos y significativos, lo que puede reflejar una absorción inicial del financiamiento en componentes de capital con baja intensidad laboral. Sin embargo, el segundo rezago revierte esta tendencia, mostrando un impacto positivo significativo (coeficiente 1.095, $p < 0.01$), consistente con un efecto retardado de contratación conforme se expande la capacidad instalada.

En contraste, la participación sectorial del empleo responde negativamente al crédito en el largo plazo, tanto en el impacto contemporáneo, como en los primeros rezagos. Esto sugiere que, aunque el crédito aumenta el empleo total, su distribución entre sectores es desigual, favoreciendo a ramas con mayor acceso histórico al financiamiento, en detrimento de otras. En términos estructurales, esta dinámica refleja una probable concentración del crédito en sectores de alta rentabilidad, lo que limita su efecto redistributivo.

En cuanto a los efectos de corto plazo, solo la tasa de ocupación responde de manera significativa al crédito: el efecto contemporáneo es positivo (0.164, $p < 0.01$), lo que evidencia una rápida reacción del empleo proporcional ante los cambios financieros inmediatos. En cambio, el número de ocupados y la participación sectorial no muestran impactos estadísticamente significativos en el corto plazo, indicando que los ajustes en estos indicadores requieren horizontes más largos para consolidarse.

El parámetro de corrección de error (ECT) es negativo y significativo en todos los modelos, con valores que oscilan entre -0.167 y -0.248, lo que valida la existencia de relaciones de largo plazo y sugiere una velocidad de ajuste moderada. En promedio, el sistema corrige entre 17 % y 25 % de cualquier desviación respecto al equilibrio por trimestre. La tasa de ocupación y la participación sectorial muestran ajustes más rápidos, mientras que el empleo total responde con mayor inercia, lo cual es coherente con la naturaleza más rígida de los indicadores absolutos frente a los proporcionales.

Tabla 3
Efectos del crédito bancario sobre los indicadores de empleo, 2005-2024.
Estimaciones ARDL-PMG: todos los sectores

<i>Variables explicativas / Pruebas</i>	<i>Variables dependientes:</i>		
	Logaritmo de la población ocupada (1)	Tasa de ocupación (2)	Tasa de participación del empleo sectorial (3)
<i>Logaritmo del crédito bancario</i>	0.101*** (0.013)	-0.275*** (0.064)	-0.437*** (0.063)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L1)</i>	0.042* (0.021)	-0.415* (0.179)	-0.570** (0.192)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L2)</i>	0.063*** (0.020)	1.095*** (0.224)	0.137 (0.217)
<i>ITAE</i>	0.002*** (0.000)	0.049*** (0.003)	0.004 (0.003)
<i>Corto plazo: variables dependientes en primeras diferencias (D1)</i>			
<i>Término de corrección de error (ECT)</i>	-0.167*** (0.062)	-0.175*** (0.013)	-0.248*** (0.016)
<i>Logaritmo del crédito bancario (D1)</i>	-0.008 (0.006)	0.164*** (0.075)	-0.189 (0.145)

Variables explicativas / Pruebas	Variables dependientes:		
	Logaritmo de la población ocupada (1)	Tasa de ocupación (2)	Tasa de participación del empleo sectorial (3)
Corto plazo: variables dependientes en primeras diferencias (D1)			
ITAE (D1)	0.001*** (0.000)	0.018*** (0.003)	0.001 (0.003)
Constante	1.900*** (0.183)	18.706*** (1.211)	8.296*** (0.755)
Observaciones / grupos	7,296/96	7,296/96	7,296/96
Prueba F (PMG)	8.21	6.00	8.88
R-cuadrado (PMG)	0.75	0.80	0.73
Estadístico CD	42.62	204.11	3.74
Log-Likelihood	11,901.72	-5,286.70	-9,319.66
Errores estándar en paréntesis. Significancia: *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.1.			

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

Las pruebas estadísticas avalan la robustez de los modelos estimados. Los valores de R^2 varían entre 0.73 y 0.80, con mayor poder explicativo en el modelo de empleo. Los estadísticos F son elevados en todos los casos, y los valores del log-likelihood son consistentes. Además, el estadístico CD resulta significativo, lo que confirma la presencia de correlación transversal entre unidades y justifica el uso del estimador PMG, dada la interdependencia entre las dinámicas laborales regionales.

En conjunto, los resultados destacan que el crédito bancario tiene un papel activo en la expansión del empleo, pero sus efectos no son homogéneos entre indicadores ni en el tiempo. Mientras que el empleo total crece de forma sostenida, la tasa de ocupación solo responde en fases tardías, y la participación sectorial tiende a reducirse, lo que evidencia un patrón desigual de absorción del crédito entre ramas productivas. Las pruebas estadísticas y los parámetros de ajuste confirman que los modelos son robustos y ofrecen una base sólida para interpretar los resultados. Estos hallazgos entonces plantean interrogantes sobre la equidad sectorial del financiamiento y la necesidad de diseñar políticas más orientadas a la inclusión productiva.

Para entender estos patrones agregados y dilucidar qué sectores económicos están detrás de estas dinámicas, es necesario avanzar hacia un análisis desagregado que permitirá identificar los motores sectoriales y evaluar en detalle los efectos diferenciales del crédito bancario en el empleo de las distintas ramas productivas del país.

Resultados sectoriales: dinámicas diferenciadas por sector económico

Esta sección analiza los efectos diferenciados del crédito por sector de actividad, permitiendo identificar las fuentes sectoriales detrás de los comportamientos detectados en el agregado a nivel nacional. La Tabla 4 para el sector primario sugiere que el crédito bancario tiene un efecto positivo pero modesto sobre el número de ocupados (coef. 0.024, $p < 0.01$), que se amplifica con el primer rezago (0.046, $p < 0.05$), pero se revierte con el segundo rezago (-0.047, $p < 0.1$), evidenciando una dinámica no lineal. Esto sugiere que las expansiones iniciales de crédito generan empleo, aunque dicho efecto se disipa o se revierte conforme se consolidan cambios tecnológicos o se alcanzan límites productivos.

La tasa de ocupación también presenta un efecto directo positivo (0.193, $p < 0.05$), aunque la reversión en el segundo rezago (-0.744 , $p < 0.01$) indica que el impulso es temporal. Por su parte, la participación sectorial en el empleo total responde negativamente al crédito desde el inicio (-0.571 , $p < 0.01$), manteniendo esa tendencia en los rezagos, lo que sugiere una pérdida de peso relativo del sector primario en la estructura ocupacional nacional, incluso en contextos de expansión del empleo absoluto.

En el corto plazo, solo la tasa de ocupación responde positivamente al crédito (0.274, $p < 0.01$), mientras que los otros indicadores no reportan efectos significativos. El ECT indica una alta velocidad de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo (-0.36 , $p < 0.01$), corrigiendo más de un tercio del desequilibrio por trimestre de este indicador. El modelo ofrece ajustes estadísticos razonables ($R^2 = 0.60-0.77$), siendo la variabilidad de la participación sectorial la menos explicada por las variables del modelo. El ITAEE tiene efectos positivos sobre empleo y tasa, pero negativos sobre participación, lo que indica que el dinamismo económico no compensa la pérdida estructural del sector.

Tabla 4
Efectos del crédito bancario sobre los indicadores de empleo, 2005-2024.
Estimaciones ARDL-PMG: sector primario

<i>Variables explicativas / Pruebas</i>	<i>Variables dependientes:</i>		
	Logaritmo de la población ocupada (1)	Tasa de ocupación (2)	Tasa de participación del empleo sectorial (3)
<i>Logaritmo del crédito bancario</i>	0.024*** (0.008)	0.193** (0.085)	-0.571*** (0.081)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L1)</i>	0.046** (0.019)	0.379 (0.234)	-0.507*** (0.158)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L2)</i>	-0.047* (0.024)	-0.744*** (0.229)	-0.010 (0.153)
<i>ITAEE</i>	0.001*** (0.000)	0.034*** (0.004)	-0.010*** (0.003)
<i>Corto plazo: variables dependientes en primeras diferencias (D1)</i>			
<i>Término de corrección de error (ECT)</i>	-0.356*** (0.024)	-0.190*** (0.018)	-0.273*** (0.023)
<i>Logaritmo del crédito bancario (D1)</i>	0.013 (0.015)	0.274*** (0.083)	0.097 (0.226)
<i>ITAEE (D1)</i>	0.001*** (0.000)	0.006*** (0.001)	0.008** (0.004)
<i>Constante</i>	4.119*** (0.293)	17.282*** (1.651)	5.349*** (0.688)
Observaciones/grupos	2,432/32	2,432/32	2,432/32
Prueba F (PMG)	12.49	6.96	15.70
R-cuadrado (PMG)	0.65	0.77	0.60
Estadístico CD	6.81	58.82	10.27
Log-Likelihood	2,482.38	-1,721.48	-2,937.32
Errores estándar en paréntesis. Significancia: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.			

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

El sector secundario presentado en la Tabla 5, muestra una relación más consistente entre crédito bancario y empleo. En el largo plazo, el número de ocupados responde positivamente al crédito, tanto en el efecto contemporáneo (0.091, $p < 0.01$), como en los rezagos (0.090 en L1, 0.180 en L2), lo que evidencia acumulación y persistencia del impacto. La tasa de ocupación, en cambio, exhibe un comportamiento en U: inicia con efectos negativos (−0.448 y −0.747), pero se revierte en el segundo rezago (0.680, $p < 0.01$), confirmando que los beneficios se materializan gradualmente.

Tabla 5
Efectos del crédito bancario sobre los indicadores de empleo, 2005-2024.
Estimaciones ARDL-PMG: sector secundario

<i>Variables explicativas / Pruebas</i>	<i>Variables dependientes:</i>		
	Logaritmo de la población ocupada (1)	Tasa de ocupación (2)	Tasa de participación del empleo sectorial (3)
<i>Logaritmo del crédito bancario</i>	0.091*** (0.011)	-0.448*** (0.098)	-0.878*** (0.110)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L1)</i>	0.090*** (0.011)	-0.747*** (0.237)	-0.537 (0.455)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L2)</i>	0.180** (0.075)	0.680*** (0.270)	0.367 (0.539)
<i>ITAEE</i>	0.001*** (0.000)	0.035*** (0.009)	0.031*** (0.009)
<i>Corto plazo: variables dependientes en primeras diferencias (D1)</i>			
<i>Término de corrección de error (ECT)</i>	-0.121*** (0.018)	-0.201*** (0.030)	-0.266*** (0.030)
<i>Logaritmo del crédito bancario (D1)</i>	0.007 (0.008)	-0.172 (0.116)	0.077 (0.186)
<i>ITAEE (D1)</i>	0.003*** (0.001)	0.007** (0.004)	0.014*** (0.004)
<i>Constante</i>	1.233*** (0.183)	19.130*** (3.165)	7.361*** (0.704)
Observaciones/grupos	2,432/32	2,432/32	2,432/32
Prueba F (PMG)	2.03	3.95	3.80
R-cuadrado (PMG)	0.92	0.86	0.86
Estadístico CD	11.49	74.14	8.97
Log-Likelihood	3,977.23	-1,841.31	-3,138.92
Errores estándar en paréntesis. Significancia: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.			

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

La participación sectorial muestra un efecto contemporáneo negativo (−0.878, $p < 0.01$), sin significancia posterior, lo que podría reflejar una expansión proporcional de otros sectores, especialmente el terciario. En el corto plazo, no se identifican efectos significativos del crédito. El ECT oscila entre −0.12 y −0.27, confirmando velocidades de ajuste moderadas. Las métricas estadísticas son sólidas: R^2 entre 0.86 y 0.92, F elevados y CD significativos, lo que posiciona al sector secundario como el principal transmisor del impacto positivo del crédito sobre el empleo a nivel agregado.

Tabla 6
Efectos del crédito bancario sobre los indicadores de empleo, 2005-2024
Estimaciones ARDL-PMG: sector terciario

<i>Variables explicativas / Pruebas</i>	<i>Variables dependientes:</i>		
	Logaritmo de la población ocupada (1)	Tasa de ocupación (2)	Tasa de participación del empleo sectorial (3)
<i>Logaritmo del crédito bancario</i>	0.257*** (0.009)	-1.262*** (0.146)	0.568** (0.289)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L1)</i>	0.112** (0.053)	-0.789* (0.455)	-0.726 (0.618)
<i>Logaritmo del crédito bancario (L2)</i>	0.093** (0.043)	2.363*** (0.440)	2.221*** (0.719)
<i>ITAAE</i>	-	0.304*** (0.028)	0.004 (0.003)
Corto plazo: variables dependientes en primeras diferencias (D1)			
<i>Término de corrección de error (ECT)</i>	-0.096*** (0.013)	-0.198*** (0.011)	-0.248*** (0.016)
<i>Logaritmo del crédito bancario (D1)</i>	0.002 (0.005)	0.316** (0.137)	-0.695** (0.259)
<i>ITAAE (D1)</i>	0.002*** (0.000)	0.045*** (0.007)	-0.026 (0.016)
<i>Constante</i>	1.106*** (0.155)	18.706*** (1.211)	13.921*** (1.318)
Observaciones/grupos	2,432/32	2,432/32	2,432/32
Prueba F (PMG)	4.29	7.73	6.06
R-cuadrado (PMG)	0.85	0.75	0.80
Estadístico CD	34.35	64.59	16.80
Log-Likelihood	5,245.16	-1,545.11	-3,309.63
Errores estándar en paréntesis. Significancia: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.			

Fuente: elaboración propia con datos de la ENOE, Banxico e INEGI (2024).

El sector terciario en la Tabla 6, destaca por su alta elasticidad al financiamiento. El efecto directo sobre el empleo es fuerte (0.257, $p < 0.01$) y se mantiene en los rezagos (0.112 y 0.093, ambos $p < 0.05$), lo que confirma su rol como principal receptor y multiplicador del crédito. La tasa de ocupación sigue una dinámica no lineal: presenta efectos negativos inmediatos (-1.262 y -0.789), pero un fuerte rebote en el segundo rezago (2.363, $p < 0.01$), probablemente al consolidarse procesos de contratación en subsectores intensivos en servicios. A diferencia del patrón general, la participación sectorial responde positivamente en todos los rezagos, destacando un fortalecimiento relativo del sector en la estructura ocupacional.

En el corto plazo, solo la tasa de ocupación muestra respuesta significativa al crédito (0.316, $p < 0.05$), mientras que el empleo y la participación no presentan efectos inmediatos. El ITAAE es robusto en la tasa de ocupación, pero no en los otros indicadores. El ECT refleja velocidades de ajuste entre -0.10 y -0.25, algo más lentas que en el sector secundario. Las pruebas estadísticas avalan la solidez del modelo ($R^2 = 0.75$ -0.85, $F = 4.29$ -7.73, CD significativos).

Comparando los sectores, se observa que el sector secundario es el principal transmisor de los efectos positivos del crédito bancario hacia el empleo agregado, mostrando acumulación y persistencia. El sector

terciario destaca por su capacidad de expandir empleo y fortalecer su participación proporcional, reflejando su papel dominante en la transformación productiva del país. Por contraste, el sector primario muestra efectos positivos limitados, concentrados en fases iniciales, con dinámicas regresivas posteriores. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de diseñar políticas diferenciadas, priorizando no solo la expansión del crédito, sino su orientación estratégica para maximizar impactos inclusivos y sostenibles en el mercado laboral mexicano.

El papel del ITAEE es clave como variable de control: actúa como un moderador macroeconómico que fortalece o debilita las relaciones entre crédito y empleo, dependiendo del sector y el indicador específico. Si bien los modelos son robustos en su conjunto, la variabilidad explicada es mayor en el sector secundario, lo que sugiere que las dinámicas laborales de este sector responden más claramente a la dinámica financiera.

Estos hallazgos sugieren que las políticas públicas orientadas a expandir el crédito bancario para impulsar el empleo deben adoptar enfoques diferenciados por sector, reconociendo la heterogeneidad productiva del país, priorizando no solo el volumen de financiamiento, sino su orientación estratégica, temporalidad y alineación con los motores productivos más inclusivos que amplíen los impactos sostenibles sobre el empleo.

CONCLUSIONES

Este estudio ha proporcionado evidencia empírica robusta sobre los efectos diferenciados del crédito bancario sobre tres dimensiones fundamentales del mercado laboral mexicano: el número de ocupados, la tasa de ocupación y la participación sectorial del empleo. Utilizando modelos ARDL-PMG sobre paneles trimestrales entre 2005 y 2024, los resultados confirman que el crédito bancario actúa como un motor relevante para expandir el empleo, aunque sus impactos varían según el indicador y el sector analizado.

En particular, los efectos positivos acumulativos sobre el número de ocupados son claros a nivel agregado y se replican en los tres sectores, aunque con distinta intensidad: el sector secundario destaca como el principal impulsor sostenido del empleo derivado del crédito, mientras que el terciario muestra una alta elasticidad que, además, se traduce en un fortalecimiento de su participación proporcional en el empleo agregado. El sector primario, por el contrario, presenta efectos más modestos, e incluso negativos, especialmente en términos de participación relativa, reflejando desafíos estructurales que limitan su capacidad de absorber crédito de forma productiva.

Respecto a la tasa de ocupación, se identifican patrones dinámicos no lineales: los efectos son nulos o negativos en el corto plazo, pero se revierten positivamente en los rezagos, particularmente en el sector secundario y terciario. Este comportamiento subraya la importancia de considerar ventanas temporales adecuadas al evaluar el impacto laboral del crédito. Finalmente, la participación sectorial del empleo, destaca particularmente en el sector terciario, donde el crédito no solo genera empleo absoluto, sino que también incrementa su peso relativo en la estructura ocupacional nacional, alineándose con los procesos de terciarización económica observados en México en las últimas décadas.

A partir de estos hallazgos, es posible establecer algunas líneas de acción relacionadas con el fortalecimiento de la orientación sectorial del crédito, priorizando no solo el volumen, sino su alineación con sectores de alto impacto laboral: el sector industrial, por su contribución al empleo absoluto, el terciario por su participación proporcional, y establecer medidas específicas para reconvertir y fortalecer la absorción productiva del sector primario. Es necesario mejorar los mecanismos de inclusión financiera, especialmente hacia pequeñas y medianas empresas (PyMES), utilizando instrumentos innovadores (garantías, banca digital, programas de fomento) que permitan ampliar el alcance y distribución de los beneficios del crédito.

Se necesita incorporar criterios laborales y sociales explícitos en los programas de financiamiento, para asegurar que los objetivos de generación de empleo y fortalecimiento de sectores rezagados se integren junto a las metas de rentabilidad. También se debería fomentar una mayor competencia y diversificación bancaria, reduciendo la concentración financiera y asegurando una asignación de recursos más eficiente y transparente a lo largo del aparato productivo.

En resumen, este estudio confirma que el crédito bancario tiene un papel multifacético y estratégico en la dinámica laboral mexicana, cuyos impactos dependen del horizonte temporal, el sector económico y el indicador considerado. Las políticas públicas orientadas a maximizar estos beneficios deben diseñarse bajo enfoques integrales que combinen expansión financiera, inclusión laboral y orientación sectorial estratégica, para fortalecer el papel del crédito como herramienta de desarrollo incluyente.

REFERENCIAS

- Aghion, P., Bacchetta, P. y Banerjee, A. (2004). Financial development and the instability of open economies. *Journal of Monetary Economics*, 51(6), 1077–1106. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2003.12.001>
- Arabzadeh, H., Balleer, A. y Gehrke, B. (2020). Uncovering the Mechanism(s): Financial Constraints and Wages. *IZA Discussion Papers*, No. 13979, Institute of Labor Economics (IZA), Bonn. <https://hdl.handle.net/10419/232731>
- Bai, J., Carvalho, D. y Phillips, G. (2018). The Impact of Bank Credit on Labor Reallocation and Aggregate Industry Productivity. *The Journal of Finance*, 73(6), 2787–2836. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jofi.12726>
- Banxico (2024). Financiamiento e información financiera de intermediarios financieros. *Sistema de Información Económica*. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=19yaccion=consultarDirectorioCuadrosylocale=es>
- Bazdresch, S. (2018). Finance and Employment Formalization: Evidence from Mexico's ENIGH 2000-2016. *Banco de México Working Papers*, 2018-14. <https://www.banxico.org.mx/publications-and-press/banco-de-mexico-working-papers/%7B9110FF71-F561-7B72-D7F9-D1EB5FE6A2F0%7D.pdf>
- Blanchard, O. J. y Johnson, D. R. (2013). *Macroeconomics* (6th ed., Chapter 4: Financial Markets). Pearson.
- Boscán, M. y Sandra, M. (2009). Estrategias de financiamiento para el desarrollo endógeno del sector confección zuliano. *Telos*, 11(3), 402-417.
- Beck, T., Demirgüç-Kunt, A. y Levine, R. (2008). Finance, firm size, and growth. *Journal of Money, Credit and Banking*, 40(7), 1379–1405. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4616.2008.00164.x>
- Beck, T., Demirgüç-Kunt, A. y Maksimovic, V. (2005). Financial and legal constraints to firm growth: Does firm size matter? *Journal of Finance*, 60(1), 137–177. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2005.00727.x>
- Benmelech, E., Bergman, N. y Seru, A. (2021). Financing Labor. *Review of Finance*, 25(5), 1365–1393. <https://doi.org/10.1093/rof/rfab013>
- Bernanke, B. S. y Gertler, M. (1995). Inside the black box: The credit channel of monetary policy transmission. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 27–48. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.27>
- Busso, M., Fazio, M. y Levy, S. (2012). (In)Formal and (Un)Productive: The Productivity Costs of Excessive Informality in Mexico. *IDB Working Paper Series* IDB-WP-341, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10419/89037>
- Canavire, G. y Rioja, F. (2009). Financial development and the distribution of income in Latin America and the Caribbean. *IZA Discussion Papers*, No. 3796, Institute for the Study of Labor (IZA), Bonn. <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-20081126704>

- Clavellina, J. (2013). Crédito bancario y crecimiento económico en México. *Economía Informa*, 378, 14–36. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(13\)71306-9](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(13)71306-9)
- De la Cruz, J. y Veintimilla, D. (2013). Banca de desarrollo y crecimiento económico en México, la necesidad de una nueva estrategia. *Análisis*, No. 5-2013. Friedrich Ebert Stiftung-México. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/10214.pdf>
- ENOE. (2024). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), series históricas 2005–2024*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/>
- Ferraro, C., Goldstein, E., Zuleta, L. y Garrido, C. (2011). *Eliminando barreras: El financiamiento a las pymes en América Latina*. Santiago: CEPAL-AECID, 7–201. <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/35358>
- Fonseca, M. y Van Doornik, B. (2019). Credit supply and labor market dynamics: Evidence from a natural experiment. *Journal of Financial Economics*, 134(3), 715–738. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.05.001>
- Fried, J. y Howitt, P. (1980). Credit rationing and implicit contract theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, 12(3), 471–487. <https://doi.org/10.2307/1991722>
- Gandelman, N. y Rasteletti, A. (2012). *The Impact of Bank Credit on Employment Formality in Uruguay*. <https://doi.org/10.18235/0011379>
- Galor, O. y Zeira, J. (1993). Income distribution and macroeconomics. *The Review of Economic Studies*, 60(1), 35–52. <https://doi.org/10.2307/2297811>
- Gómez, T., Ríos, H. y Aali, A. (2019). Desarrollo financiero y desigualdad del ingreso, el caso de América Latina. *Contaduría y administración*, 64(4), 1-17. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1902>
- Gutiérrez, E., Jaume, D. y Tobal, M. (2023). Do Credit Supply Shocks Affect Employment in Middle-Income Countries? *American Economic Journal: Economic Policy*, 15(4), 1-36. <https://doi.org/10.1257/pol.20210354>
- Hernández, J. (2015). El papel del desarrollo financiero como fuente del crecimiento económico. *Revista Finanzas y Política Económica*, 7(2), 235-256. <https://revfinypolecon.ucatolica.edu.co/article/view/158>
- Ibarra, D. (2020). México: banca y temas relacionados. *Economía UNAM*, 17(49), 103–133. <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2020.49.505>
- Ibarra-Olivo, E., Acuña, J. y Espejo, A. (2021). *Estimación de la informalidad en México a nivel subnacional (Documentos de Proyectos, LC/TS.2021/19)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/46789>
- IMF. (2018). Structural reforms and labor reallocation: A cross-country analysis. International Monetary Fund, *IMF Working Paper*, WP/18/64. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2018/wp1864.ashx>
- INEGI. (2024). *Indicador Trimestral de Actividad Económica Estatal (ITAE), entidades federativas por actividad económica 2005–2024*. <https://www.inegi.org.mx/temas/itae/>
- Kouamé, W. A. y Tapsoba, S. J. (2018). Structural reforms and firms’ productivity: Evidence from developing countries. *IMF Working Paper* No. 18/63. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2018/wp1863.ashx>
- Levine, R. (2005). Finance and growth: Theory and evidence. *Handbook of Economic Growth*, ed. P. Aghion and S. Durlauf, vol. 1A, part 3. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w10766/w10766.pdf
- Loría, E., Libreros, C. y Salas, E. (2012). La ley de Okun: una mirada de género para México 2000.II-2011.I. *Investigación Económica*, 71(280), 121-140. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2012.280.37336>
- Malkova, A., Peter, K. S. y Svejnar, J. (2021). *Labor Informality and Credit Market Accessibility*. <http://arxiv.org/pdf/2102.05803>

- OECD. (2022). Determinants of and barriers to people's financial inclusion in Mexico. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/73e9341b-en>
- Pesaran, M. H., Shin, Y. y Smith, R. P. (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>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pérez, E. y Titelman, D. (2018). La inclusión financiera para la inserción productiva y el papel de la banca de desarrollo. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/48c62b04-7611-4a61-bd9f-f6dcc5c27c7d/content>
- Prebisch, R. (1981). *Capitalismo periférico: Crisis y transformación*. Fondo de Cultura Económica.
- Rajan, R. G. y Zingales, L. (1998). Financial dependence and growth. *American Economic Review*, 88(3), 559–586. <https://www.jstor.org/stable/116849>
- Rivadeneira, A., Alcaraz, C., Amoroso, N., Oviedo, R., Samaniego, B. y Sapriza, H. (2024). The Real Effects of Credit Supply Shocks During the COVID-19 Pandemic. *Banco de México Working Papers*, 2024-16. <https://www.banxico.org.mx/publications-and-press/banco-de-mexico-working-papers/%7BDFA9FE50-8521-0964-9F46-E8C67EEDE6C7%7D.pdf>
- Romero, Y. (2022). Créditos bancarios: Impacto, relevancia y comportamiento en la economía mexicana (2015-2021). *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla* [Tesis de Licenciatura] <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16970>
- Popov, A. y Rocholl, J. (2015). Financing constraints, employment, and labor compensation: Evidence from the subprime mortgage crisis. *European Central Bank Working Paper Series*, No. 1821. <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1821.en.pdf>

ANEXO A

Clasificación en tres grandes sectores de actividad económica

<i>Sector económico</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Actividades</i>
<i>Primario</i>	S1	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza.
<i>Secundario</i>	S2	Minería. Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final. Construcción. Industrias manufactureras.
<i>Servicios</i>	S3	Comercio al por mayor. Comercio al por menor. Transportes, correos y almacenamiento. Información en medios masivos. Servicios financieros, de seguros, inmobiliarios, de alquiler, profesionales, científicos, técnicos, educativos, de apoyo a los negocios, manejo de desechos, de remediación, de salud, esparcimiento, alojamiento, preparación de alimentos, bebidas, gubernamentales y otros servicios. Corporativos.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI.

Desempleo ampliado con subempleo: la Ley de Okun en México, 2005-2024

Expanded unemployment with underemployment: Okun's Law in Mexico, 2005-2024

César Daniel Alvarado Gutiérrez* y Juan Carlos Hurtado Ramos**

*Profesor asociado del Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana.
Correo electrónico: cdag@azc.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8649-3722>

**Doctorante del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Económicas, Universidad Autónoma Metropolitana.
Correo electrónico: hurtadoramos@xanum.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1832-6693>

Los autores agradecen los valiosos comentarios del Dr. Víctor Cuevas Ahumada, quien queda exento de cualquier error u omisión que este documento pudiera contener.

RESUMEN

Este trabajo analiza la medición del desempleo en México mediante la ley de Okun, usando datos trimestrales de 2005.I a 2024.II y tres definiciones alternativas de desempleo: la tasa de desempleo abierto; una que incluye a personas disponibles pero que no buscan empleo activamente; y otra que también incorpora el subempleo. Los resultados indican que la tasa de desempleo abierto presenta anomalías, limitando su utilidad para evaluar la capacidad ociosa del mercado laboral tras crisis o recuperaciones lentas. En cambio, al incluir el subempleo, se obtienen coeficientes con los signos esperados y significancia estadística, aunque con valores superiores a los reportados en la literatura. Esto se debe a que esta definición capta cerca del 20 % de la población económicamente activa, lo que refleja la relevancia del subempleo como manifestación de precariedad laboral. Así, se concluye que la tasa de desempleo abierto resulta insuficiente para comprender la dinámica del empleo en economías en desarrollo.

ABSTRACT

This study analyzes the measurement of unemployment in Mexico using Okun's law, based on quarterly data from 2005.I to 2024.II and three alternative definitions of unemployment: the open unemployment rate; one that includes individuals available for work but not actively seeking employment; and another that also incorporates underemployment. The results indicate that the open unemployment rate exhibits anomalies, limiting its usefulness for assessing labor market slack after crises or slow recoveries. In contrast, when underemployment is included, the coefficients show the expected signs and statistical significance, albeit with higher values than those reported in the literature. This is because this definition covers around 20% of the economically active population, reflecting the relevance of underemployment as a manifestation of labor market precariousness. Thus, it is concluded that the open unemployment rate is insufficient for understanding employment dynamics in developing economies.

Recibido: 21/noviembre/2024

Aceptado: 23/mayo/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Ley de Okun |
| Mercado de trabajo |
| Desempleo |
| Subempleo |
| México |

Keywords:

| Okun's law |
| Labor market |
| Unemployment |
| Underemployment |
| Mexico |

Clasificación JEL | JEL Classification |

E24, E29, J20, J21

INTRODUCCIÓN

Arthur Okun publicó en 1962 un estudio titulado: *Producto Nacional Bruto Potencial: su medición y significado*, en esta investigación se pregunta cuánto puede producir una economía en condiciones de pleno empleo, establece que el propósito de su trabajo es el cálculo de la producción potencial. El autor sostiene



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

que la medición de esta variable se reduce a una estimación de cuánto disminuye el producto por cada punto porcentual arriba del cuatro por ciento.¹ Apunta que: “durante el periodo de postguerra, en promedio, cada punto porcentual extra en la tasa de desempleo por arriba de cuatro por ciento ha sido asociado con un tres por ciento de caída en el PNB real” (Okun, 1962, p. 95). Para sustentar esta afirmación, utiliza tres especificaciones que relacionan al producto y la tasa de desempleo.

El objetivo de esta investigación es estimar la magnitud en que aumenta el desempleo por cada unidad de caída en la producción en el caso de México, considerando el periodo que transcurre del primer trimestre de 2005 al segundo trimestre de 2024. Con este fin, se estiman los parámetros propuestos por Okun (1962) utilizando definiciones alternativas de la tasa de desempleo. La hipótesis central de este trabajo es que, en el contexto de una economía en desarrollo como la mexicana, la inclusión del subempleo y el desempleo encubierto en la medición del desempleo proporciona una relación más coherente y significativa entre las fluctuaciones de la producción y el desempleo, mostrando una mayor sensibilidad a los cambios en la producción, en comparación con la tasa de desempleo abierto tradicional. Esta hipótesis se basa en la idea de que el subempleo actúa como mecanismo de ajuste en el mercado laboral, especialmente durante periodos de recesión.

La propuesta de considerar definiciones alternativas de desempleo tiene como fuente de inspiración el trabajo de Blanchflower y Levin (2015), quienes para propósitos distintos a los nuestros, argumentan que si una economía enfrenta una recesión grave y tras ella una lenta recuperación, entonces no se puede determinar la capacidad ociosa del mercado laboral únicamente en términos de la medida convencional de la tasa de desempleo, es decir personas que no trabajan en absoluto y buscan activamente un empleo, conocida como desempleo abierto,² por lo que es necesario ampliar la definición de tasa de desempleo para reflejar con mayor precisión al mercado laboral.

La definición planteada por Blanchflower y Levin (2015) incorpora dos elementos adicionales a la definición de desempleo abierto. El primero es el desempleo encubierto, definido como el conjunto de personas que no están buscando activamente empleo, pero que sí están dispuestas a incorporarse al mercado de trabajo. El segundo es el subempleo, que se refiere a personas que trabajan solamente una fracción del tiempo de lo que estarían dispuestas. Durante la crisis pandémica, estos factores fueron rasgos incuestionables del mercado de trabajo.

Nuestra propuesta metodológica consiste en realizar estimaciones utilizando tres definiciones de la tasa de desempleo. La primera de ellas corresponde a la medición estándar de tasa de desempleo abierto, la segunda utiliza al desempleo encubierto, y la tercera se construye agregando al subempleo. De esta forma, obtenemos distintas estimaciones sobre el efecto de una caída en la producción sobre el desempleo, permitiendo observar cuál de estas definiciones de la tasa de desempleo muestra una relación coherente con las caídas en el nivel de producción. Esto permite destacar algunas particularidades del mercado laboral mexicano.

El periodo de análisis que proponemos para el caso de México incluye dos recesiones económicas en 2008 y en 2020. Como resultado de la crisis sub-prime, el índice de producción en México comienza a reducirse a mediados del año 2008 y muestra el mismo valor hasta aproximadamente inicios del año 2011.

1. Okun (1962, p. 94) considera al desempleo de equilibrio igual a cuatro por ciento. Señalando como un hecho sorprendente que “parezca haber más acuerdo en que una tasa de desempleo del cuatro por ciento es un objetivo razonable en las condiciones existentes del mercado laboral, que en cualquiera de los pasos analíticos necesarios para justificar tal conclusión”.

2. Esta definición básica de desempleo es la medida estandarizada por la Organización Internacional de Trabajo y la forma en que es reportada por la mayoría de los países para fines comparativos. Se le conoce como tasa de desempleo abierto.

La segunda recesión es resultado de la crisis pandémica, se advierte que la economía mexicana comenzó a resentir sus efectos durante los primeros meses del año 2020 y fue hasta el año 2022 que recuperó los niveles de la actividad económica.

Además de esta introducción, el trabajo se compone de tres secciones, en la primera se hace una revisión de la literatura a nivel teórico y empírico, tanto para economías avanzadas como emergentes, en la segunda se presenta la construcción y análisis de los datos utilizados, así como las tres especificaciones de modelos que se avalúan en el estudio, en la tercera se muestran y se analizan los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En su trabajo original, Okun (1962) propuso a la producción como variable independiente y a la tasa de desempleo como variable dependiente, relacionándolas de manera inversa. Analizó esta relación a través de tres especificaciones. Sin embargo, es práctica común en la literatura económica que se estime la ecuación propuesta originalmente por Okun y se reporte tanto el parámetro, que relaciona a estas dos variables como su inverso, interpretando el primero como el valor en que se modifica la tasa de desempleo por cada unidad de variación en la producción y el segundo como una medida de productividad laboral.

Al respecto, es importante hacer algunas aclaraciones sobre la interpretación del parámetro que relaciona a estas dos variables. Si planteamos que es la magnitud en que aumenta el desempleo por cada unidad de caída en la producción, entonces se está estimando el costo de una caída en la producción en términos de la tasa de desempleo. Por el contrario, si proponemos que sea la magnitud en que disminuye el desempleo por cada unidad de aumento en la producción, entonces se da respuesta a una evaluación de los beneficios del crecimiento, expresados en términos de disminución del desempleo, obtenidos por cada unidad de incremento en la producción.

Un aspecto a través del cual se puede argumentar sobre esta asimetría es el hecho de que el número de trabajadores contratados en una expansión probablemente no sea el mismo número de trabajadores que se despiden en una contracción, como lo señalan Lang y DePeretti (2009). Esta observación implica que, la incorporación de la ley de Okun a un marco analítico macroeconómico más amplio equivale a suponer que los costos de una caída en la producción son iguales a los beneficios de un incremento de ésta, ambos medidos en tasa de desempleo.

Otra interpretación presente en la literatura considera a la producción como variable dependiente y a la tasa de desempleo como variable independiente; sin embargo, es práctica común que, para valorar esta interpretación, simplemente se considere el inverso del parámetro que se obtiene al estimar a la producción como variable independiente y a la tasa de desempleo como variable dependiente. Barreto y Howland (1993) dan cuenta de este hecho y consideran dos Leyes de Okun, señalando que no es suficiente reportar el inverso del parámetro, sino que es necesario estimar la función inversa.

En lo que respecta a la estabilidad de la Ley para el caso de los Estados Unidos, Knotek (2007), utilizando una muestra de datos trimestrales de 1948 a 2007, señala que parte de las variaciones están asociadas al ciclo económico. Utilizando regresiones móviles, cada una con observaciones trimestrales de 13 años, encuentra que la correlación contemporánea entre los cambios en el desempleo y el crecimiento de la producción se ha debilitado con el tiempo. Esto se debe a que los cambios en la tasa de desempleo en un período dado ahora dependen más de los valores pasados del crecimiento de la producción que del valor contemporáneo.

En cuanto a las evaluaciones empíricas para otros países, Lee (2000) utiliza una muestra temporal de 1955 a 1996, para analizar la robustez de la ley de Okun en 17 países de la OCDE. Una particularidad de su trabajo es colocar a la tasa de desempleo como variable independiente y utilizar una especificación en diferencias. Como resultado encuentra un valor promedio de -2.04, con un valor máximo de -4.41 para Japón y un valor mínimo de -1.09 para Bélgica e Italia, considerando el valor absoluto.

Por otro lado, Schnabel (2002), utilizando una muestra temporal que finaliza en el año 2000 e inicia entre el año 1954 y 1971 para un conjunto de 11 economías desarrolladas, emplea la especificación de diferencias y coloca a la tasa de desempleo como variable dependiente. Encuentra un valor promedio del parámetro de -0.30 para. Por su parte, Moosa (1997), con una muestra de siete países desarrollados³ durante los años 1960 a 1995, reporta un valor promedio para el parámetro igual a -0.34 para la especificación de primeras diferencias. Estos estudios arrojan resultados muy similares a los hallados originalmente por Okun.

Ball *et al.* (2019) amplían el análisis de la Ley de Okun a un conjunto más amplio de países, incluyendo tanto economías avanzadas como en desarrollo. Utilizando datos anuales desde 1980 hasta 2015 para 71 países, encuentran que, en promedio, el coeficiente de Okun es aproximadamente la mitad que en los países en desarrollo (-0.2) en comparación con los avanzados (-0.4). Además, destacan que el ajuste de la ley de Okun es menor en los países en desarrollo. Sin embargo, también señalan una considerable heterogeneidad entre los países en desarrollo, como Polonia y Colombia. Entre los factores que explican estas diferencias, destacan la tasa media de desempleo y la participación de los servicios en el PIB. El estudio sugiere que, aunque la Ley de Okun se cumple consistentemente en los países avanzados, su aplicabilidad en los países en desarrollo es más limitada y varía significativamente.

Se realizó una revisión de investigaciones que evalúan la ley de Okun para economías que no cuentan con mercados de trabajo bien definidos. Por ejemplo, para el caso de Nigeria, Obodoechi y Onuoha (2019) utilizaron datos anuales de desempleo abierto reportados por el Banco Mundial para el periodo 1981-2016. Utilizando una metodología de rezago distribuido autorregresivo, los autores obtienen un signo coherente en sus regresiones, pero sin significancia estadística. Por otro, Raifu (2023) también estudia la Ley de Okun en Nigeria, pero a nivel sectorial. Considera el periodo 1981-2020 y, mediante tres metodologías econométricas, encuentra que en el modelo de diferencia los resultados son mixtos, independientemente de los métodos de estimación y filtrado de datos. Sin embargo, el autor destaca que la respuesta del desempleo a la producción del sector servicios es mayor que la del resto de los sectores.

Para el caso de Grecia, Rigas *et al.* (2011), utilizando una muestra temporal de 1960 a 2004, emplean al nivel de producción como variable dependiente y a la tasa de desempleo como variable independiente. Considerando la primera especificación encuentran un valor de -2.54 para todo el periodo de análisis. Sin embargo, advierten que a partir de 1980 el valor se reduce a -1.76 y que los resultados difieren de los obtenidos para otros países de Europa, particularmente Francia y España donde se registraron valores de -1.29 y -0.962 respectivamente. Los autores explican esta diferencia a partir de disparidades en la productividad laboral.

Para el caso de México, Chavarín (2001) propone una ecuación en la que la producción es la variable dependiente y plantea como objetivo estimar la productividad laboral. Para ello, considera una muestra temporal que abarca del primer trimestre de 1987 hasta el segundo trimestre de 2000, utilizando modelos autorregresivos de rezagos distribuidos. El autor obtiene estimaciones de 2.4 y 2.7 para los parámetros en cada uno de sus enfoques, interpretando estos valores como el costo porcentual que un punto de desempleo genera en el producto.

3. Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido.

Liquitaya y Lizarazu (2003), analizan la aplicabilidad de la Ley de Okun en la economía mexicana, utilizando datos trimestrales para el periodo 1980-2002. Los autores identifican un error recurrente en la literatura económica al estimar los parámetros de la Ley de Okun, lo que genera predicciones sesgadas. A través de análisis de cointegración y pruebas econométricas, evidencian que los modelos lineales de Okun resultan inadecuados para explicar la relación entre el desempleo y el producto en México. Como alternativa, proponen un modelo no lineal que incorpora la asimetría en la respuesta del desempleo ante cambios en el producto, sugiriendo la presencia de histéresis en el mercado laboral. Los resultados revelan que, durante periodos de recesión, el desempleo aumenta de manera significativa, mientras que, en periodos de expansión, la reducción del desempleo es menos pronunciada. Este hallazgo respalda la hipótesis de que la economía mexicana experimenta una respuesta asimétrica en el desempleo, lo que tiene implicaciones importantes para la política económica.

Por otro lado, Loría y Ramos (2007) emplean un enfoque de modelos estructurales de series de tiempo para analizar un periodo de estudio que comprende de 1970 a 2004. Con esta metodología, consideran las tres especificaciones originales y hallan valores de -0.403, 0.456 y 0.481. Por su parte, Rodríguez y Peredo (2007), usando los filtros Hodrick-Prescott y Kalman, analizan una muestra temporal que abarca del tercer trimestre de 1988 al tercer trimestre del año 2000, encontrando valores de -2.74, -3.73 y 2.65 para cada una de las especificaciones. Otros trabajos que abordan la ley de Okun con algunas sutilezas en su análisis son los de Loría *et al.* (2012, 2021, 2022), en los cuales se hace una distinción del desempleo por género, se estima la ley de Okun por Estados y se estudia la asimetría en la definición de los parámetros, respectivamente.

También, para el caso de México, Islas-Camargo y Cortez (2011) evalúan la ley de Okun para una muestra temporal que abarca del primer trimestre de 1987 al segundo trimestre de 2010. Los autores utilizan un modelo bivariado de componentes no observados del PIB real y la tasa de desempleo, descomponiendo las series en componentes tendenciales y cíclicos. Estiman valores de 1.79 y 0.51 para la volatilidad del producto real y del desempleo, respectivamente, respecto a sus componentes permanentes. Evalúan valores de -0.71 y -0.91 para las correlaciones entre los componentes permanentes y transitorios del producto y el desempleo, respectivamente. Señalan que existe una correlación negativa de -0.86 entre los componentes permanentes de las variables en estudio. Además, encuentran un valor de 0.91 para la correlación entre el componente permanente del producto y el componente transitorio del desempleo. Finalmente, al igual que Knotek (2007), identifican que la tasa natural de desempleo varía a lo largo del tiempo. Los autores concluyen que el coeficiente de Okun es mucho menor de lo esperado debido a la existencia de un gran mercado laboral informal que actúa como amortiguador de las fluctuaciones de la producción.

Alarcón y Soto (2017) emplean datos panel para analizar la relación entre el desempleo y la actividad económica, considerando a esta última como variable dependiente. Utilizan una muestra que considera a las treinta y dos entidades federativas de México con una temporalidad de 2004 a 2014. Los autores estiman valores de -2.47, -3.00 y -2.47 para la regresión de datos combinados, efectos fijos y efectos aleatorios respectivamente. Concluyen que la diferencia en los coeficientes estimados es significativa, indicando que el modelo de efectos fijos ofrece un mejor ajuste. Esto evidencia la existencia de una heterogeneidad estructural que responde a las características particulares de cada entidad federativa.

García-Ramos (2019), en su estudio sobre el caso de México, utiliza datos trimestrales que abarcan desde el primer trimestre de 1988 hasta el cuarto trimestre de 2018. A través de un modelo de estado-espacio con coeficientes variables en el tiempo, analiza el impacto de la brecha del producto sobre la tasa de desempleo. El autor llega a cuatro conclusiones principales: primero, que la tasa de desempleo de largo plazo es de 3.06; segundo, que existe histéresis en el desempleo; tercero, que cuando el nivel de producción es menor al potencial,

el impacto sobre el desempleo es de -0.43 puntos porcentuales; y cuarto, que cuando el nivel de producción es mayor al potencial, el impacto es cercano a cero.

Rodríguez *et al* (2022) analizan la relación entre la tasa de desempleo y la tasa de crecimiento de la producción para México, Estados Unidos y Canadá, utilizando datos mensuales correspondientes al periodo de enero de 2006 a noviembre de 2019. Mediante un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos no lineales, encuentran que no existe evidencia de una ley de Okun asimétrica en México. Sin embargo; identifican evidencia de dicha asimetría en Canadá a largo plazo y en Estados Unidos a corto plazo, lo cual refleja las grandes asimetrías en los mercados laborales de los tres países.

Cardoso y López (2023) estiman, mediante la metodología de Panel de Vectores Autorregresivos, la Ley de Okun para México a nivel estatal y por tamaños de localidades durante el periodo de 2005 a 2022. En su investigación proponen cinco muestras: una para el total de las entidades y cuatro submuestras según el tamaño de las localidades en México. Los resultados muestran que la ley se verifica para todos los estados y para localidades mayores a 100 mil habitantes. Asimismo, encuentran que los incrementos en el desempleo durante los primeros tres periodos generan una reducción en el crecimiento del desempleo en el periodo corriente, mientras que el rezago temporal de un año tiene un impacto positivo en el desempleo. Los autores concluyen que estos hallazgos evidencian la existencia de un carácter cíclico en la tasa de crecimiento de desempleo, con incrementos cada cuatro trimestres.

Peláez (2023) estudia la relación entre crecimiento y creación de empleos utilizando la ecuación de Okun en primeras diferencias. Para ello, emplea una muestra de datos trimestrales que abarcan de 2005 a 2023 para la economía mexicana. Los resultados muestran que, ante un crecimiento nulo de la producción, la tasa de desempleo aumenta 0.243 puntos porcentuales. Esto indica que la economía mexicana no genera los suficientes empleos en las fases de lento crecimiento. Asimismo, señalan que el avance progresivo de la tecnología permite producir la misma cantidad de bienes y servicios con menor cantidad de trabajo. Además, el autor indica como una característica del mercado laboral mexicano la existencia de un gran número de trabajadores que se desempeñan en el sector informal caracterizado por una baja productividad.

En general, se observa una diversidad de interpretaciones y metodologías para la estimación de la Ley de Okun. Sin embargo, se aprecia que el parámetro refleja una mayor productividad en las economías avanzadas, a diferencia de lo que ocurre en las economías en desarrollo. Particularmente para el caso de México, los estudios señalan la existencia de un mercado de trabajo que se caracteriza por una alta informalidad, características particulares al interior de los estados que los conforman, lo que se refleja, a nivel internacional, en la presencia de disparidades en los mercados laborales del área norte del continente americano.

Nuestro ensayo ofrece una revisión de la relación entre el comportamiento de la producción y la tasa de desempleo, utilizando distintas definiciones de este último, con el objetivo de estimar los efectos en el mercado de trabajo ante variaciones en la producción. Esta revisión destaca la importancia de contar con una definición adecuada de desempleo, ya que, si consideramos la definición convencional, podría subestimarse el costo de una caída en la producción en términos del desempleo, como se analizará más adelante. Esta errónea conclusión podría derivar en la implementación de políticas económicas inadecuadas. La ampliación en la definición de la tasa de desempleo permite, además, analizar el efecto de una caída en la producción sobre distintos grupos de personas que se encuentran en situación de desempleo o bien que desean ampliar su jornada laboral, pero que no lo consiguen. En este sentido, nuestro ensayo contribuye, para el caso de México, con una estimación de los costos en términos de desempleo asociados a una caída en la producción, lo cual proporciona información valiosa para el diseño e implementación de políticas económicas.

II. CONSTRUCCIÓN DE LOS INDICADORES Y PRESENTACIÓN DE LOS MODELOS

En esta sección se construyen las tasas alternativas de desempleo que se utilizan en las distintas especificaciones de los modelos propuestos por Okun (1962). Se incluyen 78 observaciones trimestrales que transcurren del primer trimestre de 2005 al segundo trimestre de 2024. Las dos tasas alternativas para medir el desempleo se calcularon utilizando datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) publicada por el INEGI.⁴

Para calcular la tasa de desempleo ampliada, además del desempleo abierto (DA), se incluye al conjunto de personas que no están buscando activamente empleo durante el periodo de la encuesta, pero que sí están dispuestas a incorporarse al mercado de trabajo; a este grupo lo denominamos desempleo encubierto (DE). De esta forma, el total de personas desempleadas es la suma del DA y del DE. Durante la crisis pandémica, esta característica del mercado laboral se agudizó, ya que las propias restricciones sanitarias impedían la búsqueda activa de empleo, a pesar de existir la disponibilidad de incorporación al mercado laboral.

La inclusión del DE obliga a ampliar la definición de fuerza de trabajo (FT), ya que la definición del INEGI (2002), establece que se compone de las personas empleadas, más el DA. Por tanto, se define a la fuerza de trabajo extendida (FTE) como la suma de FT y DE. Así, la tasa de desempleo ampliada (*ua*) se define como:

$$ua = \frac{DA + DE}{FTE} \quad (1)$$

El segundo componente que se incorpora a la definición de desempleo es el subempleo (*S*), el cual se define como el número de personas dispuestas a trabajar más horas de lo que su ocupación actual les permite. De esta forma se define al *desempleo ampliado con subempleo* como la suma de *DA*, *DE* y *S*. Para calcular la tasa de desempleo ampliada con subempleo (*uas*) se divide esta suma entre la *FTE*.

$$uas = \frac{DA + DE + S}{FTE} \quad (2)$$

Una vez obtenidas las tasas alternativas de desempleo, se procedió a su desestacionalización utilizando la metodología *X-12 ARIMA*.⁵ Además de estas dos variables construidas, se utilizó la tasa de desempleo abierta, denotada como *u*, y el nivel de producción a precios de 2018 denotado como *y*, ambas series desestacionalizadas. En el Cuadro 1 se presentan los estadísticos descriptivos básicos de las variables utilizadas.

Cuadro 1
Estadísticos básicos de las variables

	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Desviación estándar</i>
Producción real (<i>y</i>) ¹	22 079 568.39	20 359 640.17	25 266 808.82	18 639 711.95	1 946 982.23
Tasa de desempleo abierto (<i>u</i>)	4.09	3.79	5.75	2.68	0.82

4. Durante el segundo trimestre del año 2020 esta encuesta se realizó de manera telefónica, por lo que se denominó Encuesta Telefónica de Ocupación y Empleo (ETOE).

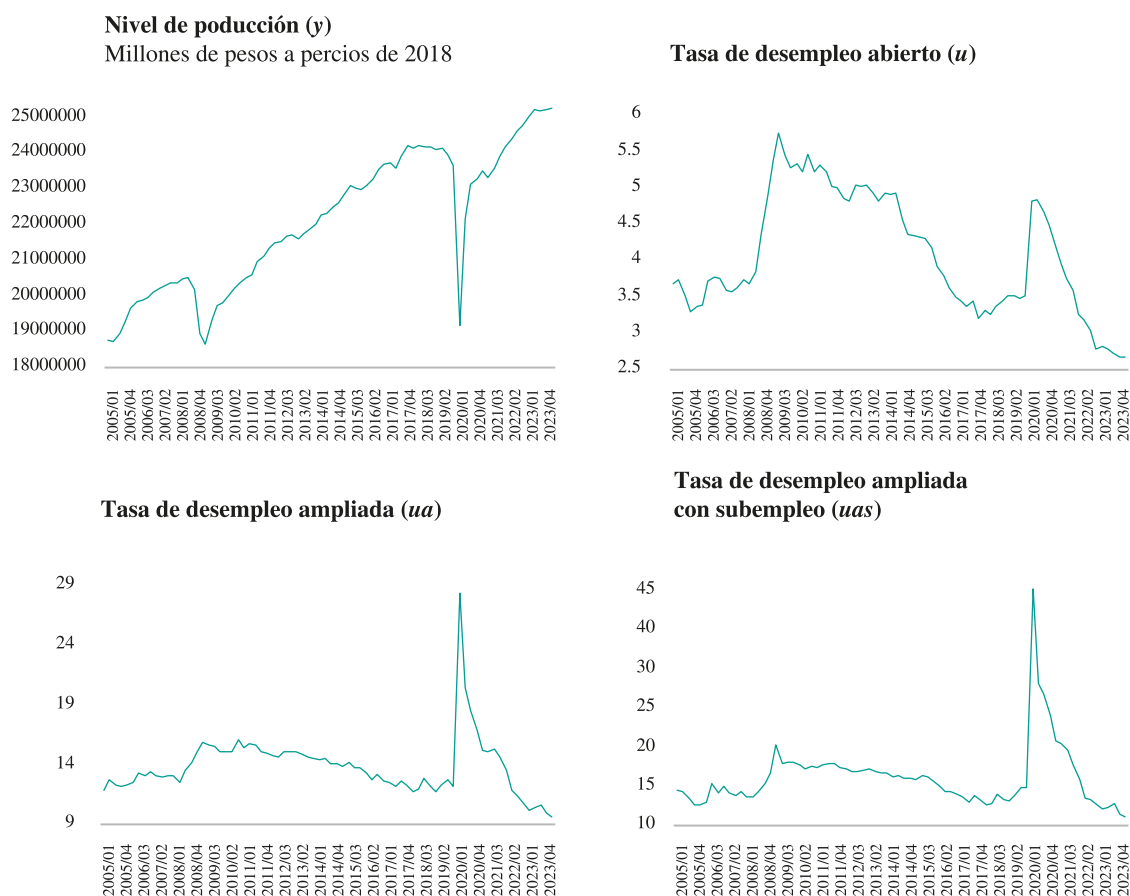
5. Se utilizó la versión 12 del programa EViews.

	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Desviación estándar</i>
Tasa de desempleo ampliada (<i>ua</i>)	13.87	13.57	28.35	9.70	2.49
Tasa de desempleo ampliada con subempleo (<i>uas</i>)	21.13	20.39	45.21	16.11	4.11
¹ Millones de pesos a precios de 2018.					

Fuente: elaboración propia con base en datos de INEGI-ENOE-ETOE.

Al analizar la evolución temporal de la tasa de desempleo abierto, presentada en la Gráfica 1, se observa que durante la pandemia este indicador fue menor que durante la crisis *sub-prime* 2008-2009. Esta aparente contradicción se explica porque la tasa de desempleo abierto solamente incluye a las personas que se encuentran activamente buscando empleo durante el periodo de aplicación de la encuesta. Así, durante la pandemia, si bien había un mayor desempleo, el número de personas que estaban buscando empleo fue menor, debido a las restricciones de movilidad implementadas, lo que generó una subestimación de la tasa de desempleo abierto.

Gráfica 1
Evolución temporal de las variables analizadas



Nota: todas las variables cuentan con ajuste estacional.

Fuente: elaboración propia con datos provenientes de INEGI-ENOE-ETOE.

En el Cuadro 2, se presentan las tres especificaciones de las estimaciones propuestas por Okun (1962). La primera especificación considera los cambios trimestrales en la tasa de desempleo como función de las variaciones porcentuales trimestrales de la producción real. La segunda especificación relaciona a la tasa de desempleo con la desviación porcentual de la producción respecto a un cierto valor tendencial de equilibrio de largo plazo. La tercera relaciona el logaritmo natural de la tasa de empleo con el logaritmo natural del nivel de producción, por lo que el parámetro γ_2 se interpreta como una elasticidad.

Cuadro 2
Modelos propuestos por Okun

$\Delta u_t = \alpha_1 + \alpha_2 \Delta y_t + \varepsilon_t$	Modelo de primeras diferencias
$u_t = \beta_1 + \beta_2 (y_t - \bar{y}_t) + \varepsilon_t$	Modelo de brecha
$\ln N_t = \gamma_1 + \gamma_2 \ln y_t - \gamma_3 t + \varepsilon_t$	Modelo de elasticidad y tendencia
Δu es la variación trimestral de la tasa de desempleo, Δy es la variación porcentual trimestral del nivel de producción en términos reales, u_t es la tasa de desempleo observada en el periodo t , y_t es el nivel de producción real en el momento t , $\bar{y}_t$ es el nivel tendencial de equilibrio de largo plazo en el periodo t , $\ln N$ es el logaritmo natural de la tasa de empleo y $\ln y$ es el logaritmo natural del nivel de producción real.	

Fuente: elaboración propia con base en Okun (1962).

Para la tercera especificación, llamada enfoque de elasticidades y tendencia, Okun (1962) desarrolla un modelo sencillo para obtener la ecuación que desea estimar. Supone la existencia de una elasticidad constante entre la razón producción observada (A) y producción potencial (P) y la razón tasa de empleo ($N = 100 - U$) y su nivel potencial (N_F); denota a esta elasticidad como a . Asume también una tasa de crecimiento constante r de la producción potencial, y considera que la producción potencial tiene un valor inicial igual a P_0 . De esta manera en el momento t , la producción potencial será:

$$P_t = P_0 e^{rt} \quad (3)$$

Con estos supuestos se deduce la definición logarítmica del nivel de empleo, como:

$$\ln N_t = \ln \frac{N_F}{P_0^a} + a \ln A_t - art \quad (4)$$

Donde N_t es el nivel de empleo, N_F es el nivel potencial de empleo y A_t es el PIB observado.⁶ El coeficiente de $\ln A_t$ se interpreta como la elasticidad producto de la tasa de empleo, es decir mide el porcentaje en que cambia el empleo ante una variación de uno por ciento en el producto observado. El coeficiente de la variable tiempo es el producto de la elasticidad y la tasa de crecimiento potencial; por lo tanto, produce una estimación de la tasa de crecimiento potencial.

III. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de las tres relaciones propuestas bajo las distintas definiciones de desempleo. La evolución temporal de las distintas formas en que se usan las variables se muestra en el Anexo.

6. Las ecuaciones (3) y (4) son tomadas de Okun, 1962.

Primera especificación

Con el propósito de estimar los parámetros de la primera especificación en el caso de México para el periodo previamente establecido, se emplearon las tres definiciones propuestas de la tasa de desempleo. En todas las estimaciones, se incluyó una variable D_1 de correcta especificación, con el fin de capturar los efectos de la crisis pandémica ocurrida en 2020. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3
Resultados de las estimaciones para cada definición de desempleo. Primera especificación

Tasa de desempleo abierto	$\Delta u = -0.02 - 0.03\Delta y + 0.45D_1$ (-1.8) (-7.65) (8.74)	$R^2 = 0.69$, $F = 83.57$ (0.00), $DW = 1.95$, $LM(2) = 0.14$ (0.86), $JB = 0.28$ (0.86), $ARCH(2) = 0.38$ (0.68)
Tasa de desempleo ampliada	$\Delta ua = 0.18 - 0.55\Delta y + 3.56D_1$ (2.53) (-22.29) (7.31)	$R^2 = 0.91$, $F = 390.91$ (0.00), $DW = 1.87$, $LM(2) = 0.11$ (0.88), $JB = 0.38$ (0.82), $ARCH(2) = 1.06$ (0.34)
Tasa de desempleo ampliado con subempleo	$\Delta uas = 0.18 - 0.55\Delta y + 3.56D_1$ (2.53) (-22.29) (7.31)	$R^2 = 0.93$, $F = 516.48$ (0.00), $DW = 2.01$, $LM(2) = 0.55$ (0.57), $JB = 0.08$ (0.98), $ARCH(2) = 0.79$ (0.45)
Las ecuaciones fueron estimadas con el método de MCO empleando EViews versión 12.		
Todos los parámetros son significativos al 5%.		

Fuente: elaboración propia con base en datos de INEGI-ENOE-ETOE.

Si nos enfocamos en la tasa de desempleo abierto, se observan ciertos problemas de interpretación, particularmente en el caso de la constante. Su valor negativo indica que, incluso con una producción invariante, el desempleo disminuye 0.02 puntos, lo cual resulta un tanto contradictorio. Otro aspecto relevante es la casi nula respuesta del desempleo ante cambios en la producción, apenas un aumento de 0.03 puntos por cada punto de caída en la producción. Esto refleja que la tasa de desempleo abierto solamente captura a una fracción muy pequeña de la población económicamente activa.

Al considerar la tasa de desempleo ampliada, se observa que, si no se presenta crisis y si la tasa de variación porcentual trimestral en la actividad económica real es nula, entonces la variación en el desempleo será positiva e igual a 0.18 puntos. Este valor representa la acumulación del desempleo cuando no hay incremento en la actividad económica real. Por otro lado, para que no exista acumulación en el desempleo, el nivel de producción debe crecer a una tasa trimestral de 0.33 puntos. El parámetro β_2 resulta estadísticamente significativo y con el signo esperado. Su valor indica que, por cada punto porcentual de caída en la producción real, el desempleo aumenta 0.55 puntos. Aunque el parámetro resulta alto, se encuentra dentro de los rangos reportados para otros países.

En el caso de la tasa de desempleo ampliada con subempleo, se observa que, si la variación porcentual trimestral del nivel de producción real es cero y la economía no presenta cambios significativos en su evolución, entonces la variación trimestral de la tasa de desempleo es de 0.3 puntos. El coeficiente -0.99 indica que, por cada caída de un punto porcentual en la producción real, la tasa de desempleo ampliada con subempleo aumenta 0.99 puntos porcentuales trimestralmente. Este alto valor se explica por la amplia definición de desempleo que se propone para este estudio. Cabe destacar que, al incluir al subempleo en la definición de desempleo ampliado, se encuentra que, en promedio durante el periodo de estudio, el desempleo representa el 23.77 por ciento de la fuerza laboral. Este porcentaje contrasta con el 4.07 % obtenido al considerar la tasa de desempleo abierto y 15.61 % al utilizar la tasa de desempleo ampliada.

Segunda especificación

La segunda especificación, denominada especificación de diferencias, analiza el incremento en la tasa de desempleo por cada punto porcentual en el que la producción se sitúa por debajo de su valor tendencial de equilibrio de largo plazo. Bajo el enfoque de la metodología analítica de corto plazo de la macroeconomía moderna dominante, se asume que tanto el desempleo como la inflación se minimizan cuando el logaritmo del nivel de producción coincide con el logaritmo del nivel tendencial de equilibrio de largo plazo. En este contexto, el valor constante puede interpretarse como una aproximación a la tasa de desempleo de equilibrio correspondiente al periodo de estudio.

En las ecuaciones correspondientes a las variables u y uas , fue necesario incorporar dos variables de correcta especificación con el objetivo de distinguir entre los efectos de la crisis financiera y los de la crisis pandémica. Por otro lado, para la ecuación de la variable ua , solo se requirió una variable de correcta especificación. En todos los casos, los signos de los coeficientes estimados coinciden con los esperados para las tres definiciones consideradas. Los resultados detallados se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4
Resultados de las estimaciones para cada definición de desempleo. Segunda especificación

Tasa de desempleo abierto	$u = 3.56 \quad -0.04\tilde{y} \quad + 0.2D_1 \quad + 0.29D_2$ (3.06) (-7.59) (1.86) (4.76)	$R^2 = 0.96, F = 340.77 (0.00), DW = 1.32,$ $JB = 3.41 (0.18), ARCH(2) = 1.10 (0.33)$
Tasa de desempleo ampliada	$ua = 12.79 \quad -0.58\tilde{y} \quad + 2.43D_1$ (12.65) (-34.97) (2.43)	$R^2 = 0.93, F = 278.18 (0.00), DW = 2.01,$ $JB = 0.76 (0.68), ARCH(2) = 0.61 (0.54)$
Tasa de desempleo ampliado con subempleo	$uas = 20.11 \quad -0.81\tilde{y} \quad + 2.98D_1 + 3.78D_2$ (26.86) (-24.44) (7.69) (8.19)	$R^2 = 0.95, F = 311.51 (0.00), DW = 1.97,$ $JB = 0.56 (0.75), ARCH(2) = 2.64 (0.078)$
Las ecuaciones fueron estimadas con el método de MCO con en el empleo de EViews, versión 12. Las tres regresiones presentaban problemas de autocorrelación, por lo que se corrigió utilizando el método de Cochrane-Orcutt.		
Todos los parámetros son significativos al 5%.		

Fuente: elaboración propia con base en datos provenientes de INEGI-ENOE-ETOE.

Los resultados indican que, si la producción se desvía un 1% por debajo de su nivel tendencial de equilibrio de largo plazo, la tasa de desempleo abierto aumenta 0.04% trimestralmente, un 0.58% para la tasa de desempleo ampliada y en 0.81% para la tasa ampliada con subempleo. Además, se puede argumentar que, si el nivel de producción se mantiene próximo a su nivel tendencial de equilibrio de largo plazo, entonces, la tasa de desempleo abierto de equilibrio es aproximadamente 3.56%, del 12.79% si observamos la tasa ampliada y de 20.11% si consideramos la tasa ampliada con subempleo.

Nuevamente, podemos observar que la inclusión del subempleo como parte del desempleo resulta en un parámetro estimado relativamente alto. Esto se debe a que la tasa uas mostró un valor promedio de 21.13% para todo el periodo. Específicamente, en el año 2022, la variable registró un valor de 20.15%, cifra superior a la reportada en el mismo año por economías avanzadas.⁷

7. Alemania 7.1 %, Canadá 7%, Estados Unidos 5.23 %, Franca 17 %, Italia 19.69 %, Reino Unido 11.20 %. Datos de la Organización Internacional del Trabajos. <https://ilostat.ilo.org/es/topics/unemployment-and-labour-underutilization/>

Tercera especificación

Para la estimación del logaritmo de la tasa de empleo abierto, se incluyeron dos variables de correcta especificación, siguiendo el mismo criterio mencionado anteriormente. En las otras dos especificaciones solamente se incorporó una variable de este tipo. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5
Resultados de las estimaciones para cada definición de empleo. Tercera especificación

Tasa de empleo abierto	$\ln N =$	4.05 (62.07)	$+ 0.03 \ln y$ (7.64)	$+ 0.00002t$ (0.13)	$+ 0.004D_1$ (6.94)	$+ 0.004D_2$ (3.8)	$R^2 = 0.96, F = 299.19 (0.00),$ $DW = 1.52, JB = 4.73 (0.09),$ $ARCH(2) = 0.32 (0.72)$
Tasa de empleo ampliado con subempleo	$\ln NA =$	- 8.12 (- 27.004)	$+ 0.75 \ln y$ (41.91)	$- 0.01t$ (- 5.86)	$+ 0.017D_1$ (9.13)		$R^2 = 0.91, F = 258.33 (0.00),$ $DW = 1.86, JB = 3.90 (0.14),$ $ARCH(2) = 0.87 (0.42)$
Tasa de desempleo ampliado con subempleo	$\ln NAS =$	- 18.92 (- 38.54)	$+ 1.39 \ln y$ (47.41)	$- 0.005t$ (- 13.58)	$+ 0.04D_2$ (13.18)		$R^2 = 0.94, F = 234.37 (0.00),$ $DW = 1.95, JB = 0.30 (0.85),$ $ARCH(2) = 2.23 (0.11)$

Las ecuaciones fueron estimadas con el método de MCO con en el empleo de EViews, versión 12.

Las tres regresiones presentaban problemas de autocorrelación, por lo que se corrigió utilizando el método de Cochrane-Orcutt.

$\ln NAS_t$ describe el logaritmo natural de la tasa de empleo considerando al subempleo como parte del desempleo; es decir $NAS_t = 100 - uas_t$. $\ln NA_t$ describe el logaritmo natural de la tasa de empleo, pero no se considera al subempleo como parte del desempleo; es decir $NA_t = 100 - ua_t$.

Fuente: elaboración propia con base en datos provenientes de INEGI-ENOE-ETOE.

Al analizar los resultados estimados para la tasa de empleo abierto, se observa que el signo de la constante no es consistente con el esperado según el modelo algebraico. De manera similar, el signo del parámetro asociado a la tendencia tampoco es consistente con la teoría. Por lo tanto, aunque el modelo muestra un ajuste estadístico adecuado, su interpretación económica no es consistente.

Para la definición de la tasa de empleo ampliada NA , se estimó una elasticidad producto-tasa de empleo de 0.75, lo que indica que, por cada punto porcentual de incremento en la producción, la tasa de empleo ampliada aumenta en 0.75 %. Por otro lado, el valor de -8.12 permitió estimar un nivel inicial de producción potencial de 22 748 277.81 millones de pesos a precios de 2018, asumiendo una tasa de pleno empleo del 98 %.

Para la tasa de empleo ampliada con subempleo NAS , se estimó una elasticidad de 1.39 %, un valor relativamente alto. Se puede esgrimir como una posible explicación el hecho de que los incrementos en la producción no necesariamente se traducen en la generación de empleos de tiempo completo, sino en empleos de medio tiempo o temporales. Este fenómeno podría ser resultado de la carencia de un mercado de trabajo bien definido.

CONCLUSIONES

Esta investigación analiza la relación entre el desempleo y el comportamiento de la producción en México durante el periodo comprendido del primer trimestre de 2005 al segundo trimestre del 2024, mediante el estudio y discusión de la ley de Okun bajo tres definiciones de desempleo. Este enfoque permite obtener diferentes

perspectivas sobre la definición y medición del desempleo, destacando la complejidad de este fenómeno en economías en desarrollo como la mexicana.

Se observó, a través de la revisión de la literatura, que los valores estimados para economías desarrolladas son más homogéneos y consistentes con la evaluación original de Okun (1962). Sin embargo, para economías emergentes, como la de México, los resultados no muestran esta naturaleza. Las diferencias en los valores de la Ley de Okun pueden explicarse por factores como el periodo muestral, el ciclo económico, la estructura institucional de los mercados laborales y las distintas formas de definir y medir el desempleo. Estos aspectos son relevantes para diseñar políticas públicas orientadas a reducir el desempleo o para utilizar las señales del mercado laboral como indicadores de presiones inflacionarias, lo que a su vez influye en la determinación de la tasa de interés nominal de corto plazo.

Las estimaciones muestran que, al considerar las variables u y $\ln N$, las interpretaciones económicas no son coherentes. Esto se debe a la definición de tasa de desempleo abierto, que, como se ha mencionado antes, solamente captura un pequeño conjunto de la población económicamente activa. Además, esta forma de medir el desempleo generó valores más altos durante la crisis financiera de 2008 que durante la crisis pandémica de 2020, lo que distorsiona los resultados, ya que el impacto de la crisis pandémica no se reflejó adecuadamente en el desempleo abierto. Este fenómeno subraya la importancia de considerar definiciones más amplias de desempleo que incluyan al subempleo y otras formas de precarización laboral.

Incluir el subempleo en la definición de tasa de desempleo ampliada, como sugieren Blanchflower y Levin (2015), implica considerar aproximadamente un quinto de la población económicamente activa en México durante el periodo de análisis. Esto resulta en efectos del desempleo ante cambios en la producción mayores que los reportados en otros estudios. A diferencia de la tasa de desempleo abierto, esta definición captura a un conjunto más amplio de la población económicamente activa, lo que hace que las variaciones en la producción tengan un impacto significativo en el desempleo ampliado con subempleo. Este enfoque de medición quizá sea adecuado en economías donde las relaciones laborales son más estables y donde el subempleo representa una fracción menor de la fuerza laboral. Sin embargo, en economías como la mexicana, esta medición parece sobreestimar la respuesta del desempleo, lo que refleja la prevalencia del subempleo y otros mecanismos de ajuste en el mercado laboral ante perturbaciones exógenas.

De esta manera, al considerar la definición de desempleo ampliado, se concluye bajo la primera especificación que, si la economía presenta nulo crecimiento trimestral, el desempleo aumentará en 0.18 puntos. Por otro lado, si la producción disminuye en un punto porcentual trimestralmente, la tasa de desempleo aumentará aproximadamente 0.55 puntos. Además, se concluye que el nivel de producción debe crecer en promedio 0.33 puntos para mantener constante la tasa de desempleo ampliada.

En la segunda y tercera especificaciones, se estimó una tasa de desempleo ampliada del 12.76 % para el periodo de análisis. Asimismo, se calculó que la tasa de desempleo ampliada aumenta 0.58 puntos por cada punto porcentual de caída en la producción por debajo de su valor tendencial de equilibrio de largo plazo, y que la elasticidad producto-tasa de empleo es aproximadamente del 0.75 %.

Estos resultados reflejan la complejidad de medir el desempleo en economías en desarrollo, particularmente para el caso de México. Muestra cómo este aparente sencillo problema genera distintas tasas de desempleo de equilibrio, lo que puede influir en las decisiones de política económica orientadas a mantener la economía en su senda de crecimiento de largo plazo. Un hallazgo clave de este estudio es que el subempleo y el desempleo encubierto actúan como válvulas de escape en el mercado laboral mexicano, absorbiendo gran parte del impacto de las crisis económicas y evitando que el desempleo abierto incremente drásticamente. En lugar de manifestarse como desempleo abierto, las crisis económicas y las fluctuaciones

en la producción tienden a traducirse en el aumento del subempleo y otras modalidades de precarización laboral. Este fenómeno explica por qué, durante la crisis pandémica de 2020, la tasa de desempleo ampliado y el subempleo mostraron respuestas más significativas.

De esta manera, los resultados respaldan la hipótesis central de este trabajo, demostrando que el subempleo y el desempleo encubierto muestran una relación más coherente y significativa con las fluctuaciones de la producción, en comparación con la tasa de desempleo tradicional.

Por lo tanto, consideramos que no solo se necesita una definición general de desempleo, sino también definiciones más amplias que capturen a los distintos grupos de personas que, de una u otra manera, están fuera del mercado laboral formal. Estas métricas deben incluir distintas formas de precarización laboral, ya que representan una proporción significativa de la fuerza laboral y son sensibles a los cambios en la producción. Además, el hecho de que distintas formas de precarización laboral funcionen como mecanismos de ajuste ante crisis económicas plantea un desafío para las políticas públicas. Si bien estas formas de empleo pueden amortiguar el impacto de corto plazo de las recesiones, también perpetúan condiciones laborales de baja productividad y lento crecimiento.

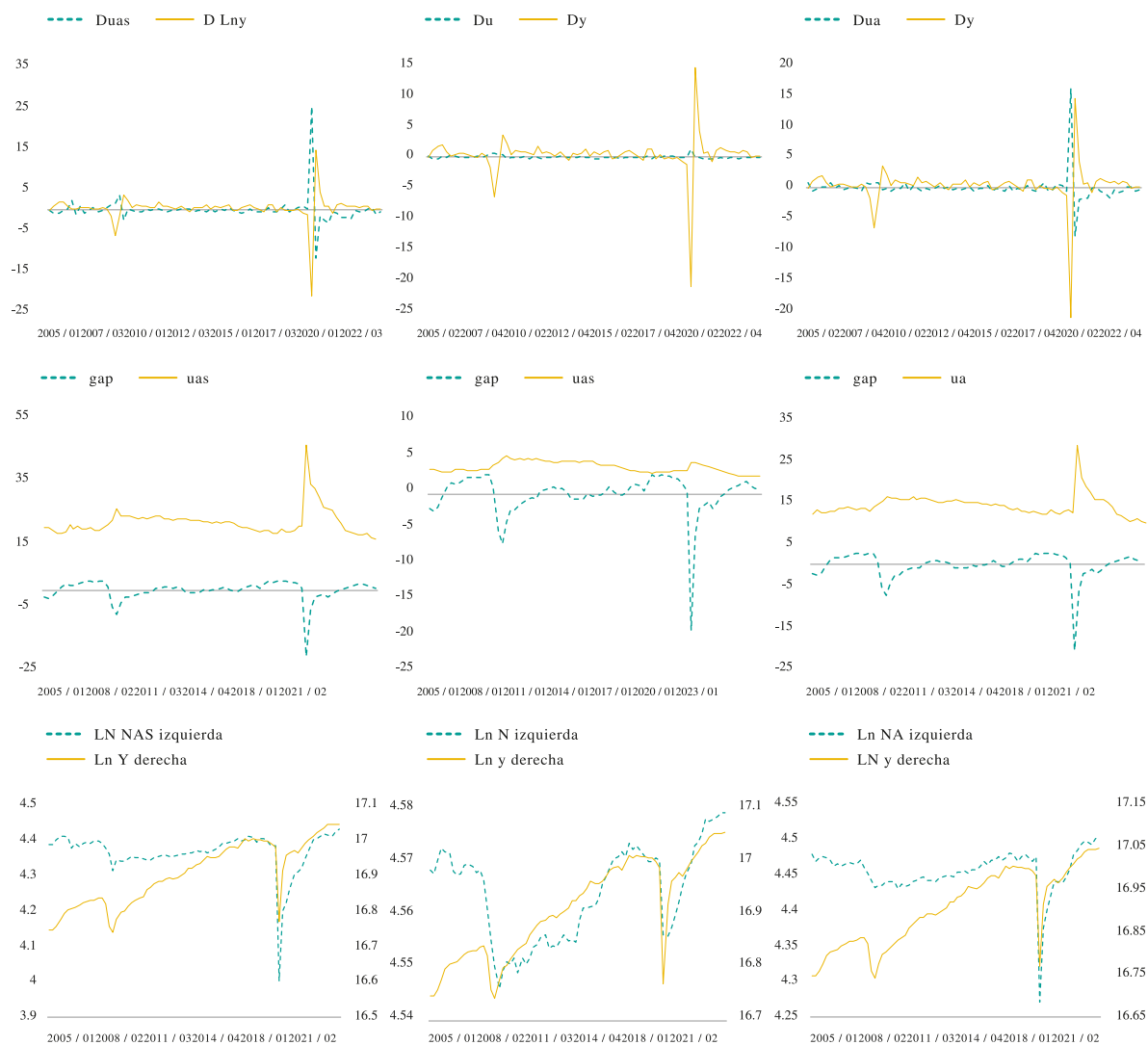
REFERENCIAS

- Alarcón, M. A. y Soto, I. M. (2017). Heterogeneidad estructural en la estimación de la Ley de Okun para el caso mexicano. *Realidad, datos y espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 8(3), 73-92. <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2017/12/18/heterogeneidad-estructural-en-la-estimacion-la-ley-okun-caso-mexicano/>
- Ball, L., Furceri, D., Leigh, D. y Loungani, P. (2019). Does one law fit all? Cross-country evidence on Okun's Law. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 107, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11079-019-09549-3>
- Barreto, H. y Howland, F. (1993). *There Are Two Okun's Law Relationships Between Output and Unemployment*. Wabash College, Crawfordsville. <https://www.researchgate.net/publication/228421484>
- Blanchflower, D. y Levin, A. (2015). Labor Market Slack and Monetary Policy. *NBER Working Paper* No. 21094. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w21094>
- Cardoso, D. A. y López, J. A. (2023). Estimación de la Ley de Okun para México al nivel estatal y por tamaño de localidad. *Sobre México. Temas de Economía. Nueva Época*, 1(7), 36-83. <https://doi.org/10.48102/rsm.v1i7.128>
- Chavarín, R. (2001). El costo del desempleo medido en producto. Una revisión empírica de la ley de Okun para México. *El Trimestre Económico*, 68(270), 209-231. <https://www.researchgate.net/publication/46548342>
- García-Ramos, M. (2019). The impact of the output gap on the unemployment rate: Evidence from Mexico, 1987Q1-2018Q4. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 23(48), 4-15. <https://doi.org/10.17230/ecos.2019.48.1>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005–2024). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) y Encuesta Telefónica de Ocupación y Empleo (ETOE)* [base de datos]. Banco de Información Económica (BIE). <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Islas-Camargo, A. y Cortez, W. (2011). Revisiting Okun's law for Mexico: an analysis of the permanent and transitory components of unemployment and output. *MPRA Paper* No. 30026. Munich Personal RePEc Archive. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/30026/>
- Knotek II, E. S. (2007). How useful is Okun's law? *Economic Review, Federal Reserve Bank of Kansas City*, 92(4), 73-103. <https://www.kansascityfed.org/documents/955/2007>

- Lang, D. y De Peretti, C. (2009). A strong hysteretic model of Okun's Law: Theory and a preliminary investigation. *International Review of Applied Economics*, 23(4), 445-462. <https://doi.org/10.1080/02692170902954775>
- Lee, J. (2000). The robustness of Okun's law: Evidence from OECD Countries. *Journal of Macroeconomics*, 22(2), 331-356. [https://doi.org/10.1016/S0164-0704\(00\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0164-0704(00)00135-X)
- Liquitaya, J. y Lizarazu, E. (2003). Ley de Okun en la economía mexicana. *Denarius: Revista de Economía y Administración*, (8), 15-39. <https://denarius.izt.uam.mx/index.php/denarius/issue/view/27>
- Loría, E. y García-Ramos, M. (2007). La ley de Okun: Una relectura para México, 1970-2004. *Estudios Económicos*, 22(1), 19-55. <https://www.jstor.org/stable/40311523>
- Loría, E., Liberos C. y Salas, E. (2012). La ley de Okun en México: una mirada de género, 2000.2-2011.1. *Investigación Económica*, 71(280), 121-140. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2012.280.37336>
- Loría, E., Rojas, S. y Martínez, E. (2021). Ley de Okun en México: Un análisis de la heterogeneidad estatal, 2004-2018. *Revista de la CEPAL*, (134), 141-160. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47288-ley-okun-mexico-un-analisis-la-heterogeneidad-estatal-2004-2018>
- Loría, E. y Salas, E. (2022). La ley de Okun en México, una relación asimétrica, 2005.01-2021.10. *Investigación Económica*, 81(321), 156-173 <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2022.321.82062>
- Moosa, I. (1997). A cross-country comparison of Okun's Law coefficient. *Journal of Comparative Economics*, 24(3), 335-356. <https://doi.org/10.1006/jcec.1997.1433>
- Obodoechi, D. y Onuoha, C. (2019). The validity of Okun's law: An empirical evidence for Nigeria. *American International Journal of Social Science Research*, 4(2), 136-144. <https://doi.org/10.46281/aijssr.v4i2.376>
- Okun, A. (1962). Potential GNP: Its measurement and significance. *Cowles Foundation Paper No. 190*. Cowles Foundation, Yale University. <https://cowles.yale.edu/node/142137>
- Peláez, O. (2023). La ley de Okun en México: ¿Empleo sin crecimiento económico? *Inventio. La génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 19(49). <https://doi.org/10.30973/inventio/2023.19.49/5>
- Raifu, I. (2023). Testing Okun's law at sectoral level: Evidence from Nigeria. *International Journal of Development Issues*, 22(1), 1-20. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijdi-04-2022-0070/full/html>
- Rigas, J., et al. (2011). The validity of the Okun's law: An empirical investigation for the Greek economy. *Journal of European Economy*, 10(1), 16-38. <https://jeej.wunu.edu.ua/index.php/enjee/article/view/440/420>
- Rodríguez, D., Müller, N. y Perrotini, I. (2022). Desempleo y producto en México, Estados Unidos y Canadá: Una relación no lineal. *Análisis Económico*, 37(95), 5-25. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/desh/ae/2022v37n95/Rodriguez>
- Rodríguez, P. y Peredo, F. (2007). Estimación de la ley de la ley de Okun. *Análisis Económico*, 22(51), 59-79 <https://analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/1277/1004>
- Schnabel, G. (2002). Output Trends and Okun's Law. *Working Paper No. 111*. Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/publ/work111.htm>

ANEXO

Evolución temporal de las variables incluidas en las distintas ecuaciones evaluadas



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI-ENOE-ETOE.

Factores de políticas públicas para promover la competitividad regional en México

Public policy factors to drive regional competitiveness in Mexico

Isaí Contreras Álvarez* y Eric Israel Ríos Nequis**

*Universidad Autónoma del Estado de México.

Correo electrónico: icontrerasal001@uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5826-0946>

**Universidad Autónoma de Baja California.

Correo electrónico: eric.israel.rios.nequis@uabc.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4233-4458>

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consiste en explorar los factores relacionados con la competitividad de las nueve entidades federativas líderes en México durante el período 2018-2023, a partir de los criterios de competitividad establecidos por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) y sus efectos en la actividad económica estatal, medida a través del Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE). Para ello, se recurre a una regresión de corte transversal agrupada que mide los cambios de las variables independientes sobre la variable dependiente tomando como referencia el tiempo. Las variables explicativas son la percepción de inseguridad y los terminales puntos de venta. También se incorporan las exportaciones locales, dada su relevancia en el ámbito global. Los hallazgos confirman que la competitividad sistémica a nivel estatal es un fenómeno multifactorial, donde las políticas públicas, el sector privado y las dinámicas sectoriales contribuyen conjuntamente al fortalecimiento del desarrollo económico regional.

ABSTRACT

The research objective is to explore the factors related to the competitiveness of the nine leading federal entities in Mexico during the period 2018-2023, based on the competitiveness criteria established by the IMCO and its effects on state economic activity, measured through ITAE. To do this, a pooled cross-sectional regression is used that measures the changes of the independent variables on the dependent variable taking time as a reference. The explanatory variables are the perception of insecurity and point-of-sale terminals. Local exports are also incorporated, given their relevance in the global arena. The findings confirm that systemic competitiveness at the state level is a multifactorial phenomenon, where public policies, the private sector and sectoral dynamics jointly contribute to the strengthening of regional economic development.

Recibido: 02/diciembre/2024

Aceptado: 22/mayo/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Competitividad |
| Políticas públicas |
| Regresión agrupada |
| Economía aplicada |

Keywords:

| Competitiveness |
| Public policies |
| Pooled regression |
| Applied economics |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

C33, G18, O11, R11



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

INTRODUCCIÓN

El concepto de competitividad es amplio y puede abordarse desde niveles nacional, local y empresarial. A nivel empresarial, es especialmente complejo, pues implica factores internos y externos como la gestión, las actividades productivas, la estructura organizacional y la calidad, clave en el desarrollo de ventajas competitivas. Además, los resultados deben reflejarse en el mercado

o sector industrial, ya que la competitividad también depende de la innovación, el dinamismo del sector y la estabilidad económica, esenciales para lograr ventajas sostenibles. Para ello, la empresa debe adoptar enfoques estratégicos y de adaptación al entorno competitivo, sin importar su tamaño o sector (Braidot y Nicolini, 2007; Saavedra *et al.*, 2017).

Saavedra (2012a) plantea que la competitividad empresarial se logra a través de la participación en mercados nacionales e internacionales, la posición competitiva, productividad, rentabilidad, relaciones empresariales, el sector y la infraestructura regional, siendo esta última clave para abordar la competitividad desde enfoques nacional, territorial y regional. Por su parte, Fajnzylber (1988) define la competitividad como la capacidad de una nación para participar en mercados internacionales y mejorar el nivel de vida de su población. En la misma línea, Camagni (2002) destaca la competitividad territorial como la búsqueda de empleo estable, beneficios de la integración externa y crecimiento del bienestar local. Asimismo, Martínez *et al.* (2010) señalan que la competitividad, ya sea empresarial, regional o nacional, implica medir el grado de éxito y aprovechar fortalezas corrigiendo debilidades para mantenerse en competencia a largo plazo.

Al analizar la importancia que tiene la competitividad a escala regional, territorial y nacional, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) plantea el concepto de competitividad estructural, donde se involucran empresas competitivas y fortalezas, un competitivo nivel de eficiencia en la estructura productiva nacional, las tendencias en contexto de largo plazo que puede tener la tasa y sus diferentes formas de inversión, la infraestructura técnica y otros factores corporativos (Ravelo y Mendoza, 2023). En un sentido estructural y complementario el *International Institute of Management* (IMD) define a la competitividad como la destreza que desarrolla un país para crear y mantener un entorno adecuado para fomentar el crecimiento empresarial y el incremento en el poder adquisitivo de sus habitantes (Ravelo y Mendoza, 2023).

Para Muñoz *et al.* (2022) el análisis de la competitividad territorial es relevante porque es conceptualizada como la habilidad territorial para desarrollar fortalezas en sus actividades económicas, construyendo una relación cercana con su población residente y mejorando sus condiciones de vida. De forma complementaria y reafirmando esta postura Sarmiento *et al.* (2023) sostienen que la competitividad territorial requiere una examinación especializada porque son involucrados diversos agentes ambientales, económicos y sociales. Por tanto, conlleva un análisis, como el de vocación territorial, una examinación de condición empresarial integral porque dentro de éste debe incluirse la institucionalidad, recursos naturales y la sociedad, con el fin de lograr una refinada articulación de agentes territoriales en el aprovechamiento de los recursos que contribuyan a una adecuada distribución de ingresos, un incremento de las capacidades del territorio y el progreso de las condiciones de vida de sus habitantes. En síntesis, se puede observar que la competitividad requiere de la participación de elementos, como las autoridades en sus distintos niveles (nacional, estatal y municipal) para comprender las razones asociadas al crecimiento de una región.

El Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) realiza un análisis descriptivo anualmente para establecer un posicionamiento clasificado de las entidades federativas más competitivas. El Índice de Competitividad Estatal del IMCO es una herramienta para identificar las fortalezas y debilidades de las entidades y permite evaluar qué tan atractivas son para el talento y la inversión a partir de las condiciones de vida y de empleo en ellas (IMCO, 2023). Asimismo, cabe mencionar que el lugar o posición que cada estado ocupa es resultado de un índice de competitividad que se obtiene bajo el análisis de 72 indicadores y 10 subíndices, los cuales determinan seis niveles de competitividad (IMCO, 2023).

De acuerdo al boletín del Índice de Competitividad Estatal (IMCO, 2023), el cual está compuesto por 69 indicadores categorizados en 10 subíndices, las entidades federativas se catalogan por grupos de mayor a menor competitividad, siendo la Ciudad de México el primer lugar del *ranking*. Enseguida, aparece un segundo grupo,

con un alto nivel de competitividad, donde se ubican estados como Querétaro, Nuevo León, Coahuila, Baja California Sur y Jalisco. En el tercer grupo, catalogado como competitividad media alta, se localizan entidades federativas como Aguascalientes, Chihuahua, Sonora, Baja California, Sinaloa, Tamaulipas, Quintana Roo, Nayarit, Yucatán y Durango. Posteriormente, en un cuarto grupo, de competitividad media, se ubican los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Guanajuato, Campeche, Estado de México, Puebla, Morelos, Colima, Tabasco, Zacatecas, Veracruz, Michoacán. Finalmente, se presenta un quinto grupo denominado de competitividad baja, donde están ubicados estados como Tlaxcala, Chiapas, Oaxaca y Guerrero.

En el contexto de la competitividad territorial, cuyo propósito es promover la productividad, el crecimiento y el bienestar regional, resulta importante brindar respuestas a los siguientes cuestionamientos: ¿Qué factores están positivamente asociados al Indicador Trimestral de Actividad Económica Estatal (ITAEE) en las entidades federativas más competitivas acorde a los criterios del IMCO en el último lustro? ¿Qué relevancia tiene la inseguridad en la dinámica de crecimiento regional? y ¿Qué relación tiene el crecimiento vía exportaciones con el ITAEE?

El objetivo general de este trabajo de investigación consiste en explorar los factores asociados a la competitividad de las nueve entidades federativas más relevantes de México durante el último lustro. Para ello, se realiza un análisis de los indicadores de competitividad del IMCO y su influencia en el desempeño económico estatal, medido a través del ITAEE. Además, bajo el régimen de economías abiertas, se examinan los efectos de las exportaciones locales en la actividad económica de cada Estado.

El trabajo busca demostrar que, dentro del marco de la competitividad sistémica, el desempeño económico de una entidad federativa, así como el desarrollo de sectores y ramas industriales en una región, constituyen factores decisivos para impulsar su expansión. Concretamente, bajo un entorno de competencia internacional, actividades como las exportaciones constituyen un elemento estratégico que impulsa el crecimiento y fortalece el posicionamiento de dichas entidades. Al mismo tiempo, se destaca que la actividad de la administración pública debe enfocarse en tareas esenciales, como garantizar un entorno de seguridad que mejore la percepción de la población, dado que este factor influye directamente en el desempeño económico regional. Por tanto, es importante que se generen las condiciones para desarrollar una infraestructura informática adecuada para los negocios, herramienta fundamental para facilitar transacciones comerciales y favorecer los sectores productivos, consolidando así las bases para un crecimiento económico regional sostenible.

En la primera sección del trabajo se presenta el marco analítico, en el cual se define la competitividad como la capacidad de generar bienes y servicios eficientemente, vinculada a innovación, productividad y políticas públicas, y se analizan los enfoques clásico, endógeno y sistémico en relación con factores institucionales, empresariales y territoriales del crecimiento regional. A continuación, se describe la metodología, basada en el ITAEE como variable dependiente y en indicadores del IMCO sobre competitividad estatal, aplicando modelos de regresión agrupada y de datos de panel con efectos fijos y aleatorios para una muestra de nueve entidades federativas durante 2018–2023, con el objetivo de evaluar la relación entre crecimiento económico, exportaciones, infraestructura digital e inseguridad. La sección de resultados indica que el modelo agrupado es el más adecuado, mostrando efectos directos de las exportaciones e indirectos de la inseguridad sobre el ITAEE. Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación.

I. MARCO TEÓRICO ANALÍTICO

El concepto de competitividad hace referencia a la capacidad de una entidad, ya sea una empresa, región o país, para suministrar bienes y/o servicios de manera más eficiente que sus competidores en el mercado. Por tanto,

la competitividad puede asociarse con los procesos de innovación y mejora continua, así como la capacidad de adaptación a los desafíos del entorno económico. Consecuentemente, para que los países o regiones en el mundo puedan mejorar su competitividad resulta clave, desde una perspectiva de las políticas públicas, llevar a cabo avances significativos en el ámbito educativo, desarrollar una sólida infraestructura, fomentar el desarrollo de capacidades tecnológicas a partir de las inversiones a nivel sectorial, con el propósito de generar un entorno empresarial competitivo que a su vez favorezca el desarrollo económico (Ferrer, 2005).

Existe un consenso general al señalar que la competitividad empresarial es un factor clave para impulsar el crecimiento y el desarrollo económico a nivel regional y global. A nivel local, las empresas competitivas son capaces de estimular la innovación, crear empleos y fomentar la atracción de inversiones, que a su vez pueden inducir una expansión en su infraestructura y también de sus actividades productivas. A nivel internacional, la competitividad empresarial permite a las firmas producir y exportar bienes y servicios de alta calidad, lo que facilita su posicionamiento en los mercados globales y les otorga una ventaja frente a otros competidores. Estos efectos, en última instancia, pueden reflejarse en un desarrollo favorable de la balanza comercial de un país (Álvarez y García, 2010).

Dada la importancia de competitividad en términos del vínculo directo con el crecimiento económico, existen diversas corrientes teóricas enfocadas en estudiar los principales determinantes de la competitividad y, por tanto, de los procesos de crecimiento y desarrollo económico de las naciones. Entre estas teorías, por mencionar algunas, destacan la economía clásica, que resalta la eficiencia en la asignación de recursos; la teoría del crecimiento endógeno, donde se consideran aspectos como el capital humano, las innovaciones, las instituciones y la apertura comercial y, más recientemente, destaca el enfoque de la competitividad sistémica, que enfatiza la importancia de la coordinación entre empresas, instituciones y políticas públicas para lograr un desarrollo competitivo sostenible (Benavides *et al.*, 2004).

Desde la perspectiva de la economía clásica, la competitividad y el crecimiento están asociados a la eficiencia en la asignación de recursos y al libre mercado, de tal manera que la competitividad se alcanza cuando las empresas optimizan el uso de los factores productivos capital y trabajo, mientras que la competencia entre éstas favorece la innovación y la mejora continua de la productividad. Concretamente, el modelo de Solow (1956) constituye la base teórica del crecimiento económico y toma como punto de partida una función de producción agregada del tipo Cobb-Douglas, donde el producto depende de la razón capital-trabajo; es decir, el crecimiento económico a largo plazo es resultado de la acumulación de capital físico *per cápita*. Asimismo, esta función está caracterizada por rendimientos decrecientes de los factores productivos y rendimientos constantes a escala, para explicar el crecimiento de largo plazo del producto con base en la productividad total de los factores (PTF); es decir, la eficiencia con la que se combinan los factores productivos, la cual se considera exógena al modelo y, por lo tanto, la política económica implementada por el Estado tiene poca capacidad de incidir sobre el proceso de crecimiento.

Posteriormente, sobresale el enfoque del crecimiento endógeno con las aportaciones de Paul Romer (1986), quien sustituye la hipótesis de rendimientos decrecientes del capital fijo por la de Arrow (1962), que destaca el aprendizaje resultante de la inversión para mejorar la eficiencia productiva. Romer plantea rendimientos crecientes a escala, ligados a la acumulación tecnológica y del conocimiento, de modo que, al aumentar la producción, la productividad crece, los costos unitarios disminuyen y la relación capital-trabajo mejora. Introduce también la noción de externalidades positivas derivadas del conocimiento y asume que el progreso técnico es endógeno, impulsado por inversiones sostenidas.

Lucas (1988) destaca la importancia de la acumulación de capital humano, ya sea debido al proceso de aprendizaje o como resultado de la educación formal, la cual es capaz de generar externalidades positivas

en una economía, mismas que fortalecen la productividad del capital físico y, a su vez, estimulan el ingreso *per cápita* nacional. De acuerdo con Gaviria (2007), Lucas desarrolla dos modelos tomando al cambio tecnológico como motor complementario del crecimiento, a saber: el primero, enfatiza la acumulación de capital humano mediante la educación y la academia; y el segundo, centra la especialización adquirida mediante el aprendizaje. Asimismo, otros desarrollos teóricos importantes correspondieron a los modelos donde la Investigación y Desarrollo (I+D) resultan capaces de generar cambio tecnológico endógeno bajo un escenario de competencia imperfecta (Grossman y Helpman, 1994). Dada esta condición, las externalidades generadas por la tecnología, la inversión en investigación y desarrollo (I+D), así como la formación de capital humano, permiten alcanzar tasas de crecimiento superiores en el largo plazo. Por tanto, el papel que desempeña la política económica puede resultar determinante para tal propósito.

De acuerdo con Suñol (2006), la teoría de la dependencia de Prebisch establece que las diferencias estructurales entre los países periféricos y los países centrales provocan que los primeros mantengan bajos índices de ahorro y eficiencia. Ante esto, una posible solución a esta situación radica en establecer las estructuras productivas adecuadas a través de la adopción de políticas públicas. Particularmente, Romer (1992) plantea que las políticas públicas en los países rezagados son elementales en la creación o formación del capital humano necesario para acelerar el crecimiento y, por ende, es competencia del Estado, la construcción de una base interna para adecuar el sistema de educación y los marcos de orden institucional que auxilien y apoyen a la formación de capital humano rentable y mejora del capital físico para las empresas del sector privado.

De acuerdo con Enright *et al.* (1994) e Ivancevich y Lorenzi (1997), la competitividad de una empresa, bajo condiciones de libre mercado, se define como su capacidad para suministrar bienes y servicios de manera más eficiente y eficaz que sus competidores. En el ámbito mundial, esta característica implica que la empresa pueda superar exitosamente las exigencias de los mercados internacionales, manteniendo o incluso aumentando el ingreso real de sus habitantes, simultáneamente.

Dado el gran dinamismo del comercio mundial, la competitividad internacional resulta un factor esencial para determinar si las empresas pueden ser capaces (o no) de aprovechar las oportunidades que brinda la economía internacional, de tal manera que esto permita apuntalar la estrategia de crecimiento económico. Bajo este contexto, tanto las exportaciones como el desarrollo y la difusión tecnológicos, ligados a la transformación productiva y al proceso de crecimiento, pueden coadyuvar a la consolidación de las empresas locales en los mercados internacionales. En consecuencia, aquellas políticas encaminadas a favorecer el dinamismo y la diversificación de las exportaciones pueden mejorar sustancialmente las posibilidades de generación de empleos e impulsar el crecimiento económico, ya que un sector exportador consolidado ejerce un efecto de arrastre al resto de los sectores productivos e impulsa el empleo, el aprendizaje y la difusión tecnológica. Una mayor coordinación entre las distintas políticas de desarrollo productivo, tales como el fomento a la producción, la difusión tecnológica, la formación de recursos humanos y aquellas de carácter comercial, es fundamental para aumentar la competitividad (Rosales, 1995).

En este marco, es necesario analizar las posibilidades que tienen las políticas públicas para impulsar la competitividad en un entorno de economías abiertas. Al respecto, Rosales (1995) establece que las políticas de desarrollo productivo generalmente se enfocan en políticas horizontales que tratan, por un lado, de resolver directamente las imperfecciones de mercado y, por otro, de fortalecer sus funciones en cuanto a la toma de decisiones relacionadas con la producción. En contraparte, las nuevas vertientes de las políticas de desarrollo productivo se caracterizan por: i) desarrollar mercados incompletos en cuanto a tecnología, capital humano, mercados de capital a largo plazo y de divisas, para compensar las subinversiones en exportación o el apoyo insuficiente a sectores precursores; ii) fomentar los rendimientos crecientes y complementariedades estratégicas

para estimular la competitividad sistémica; iii) regular los mercados críticos para la competitividad; iv) crear espacios a la inversión privada en materia de infraestructura con mecanismos eficaces para fijar tarifas y criterios de gestión económica y v) apoyar la internacionalización productiva favoreciendo la inversión en el exterior, las alianzas con socios externos y la participación local en cadenas de comercialización. Al estudiar la competitividad en un entorno global hay que adoptar un enfoque estructural que va más allá de los costos de producción, incluyendo factores organizativos, institucionales, interconexiones sectoriales, y calidad de relaciones e infraestructura (García *et al.*, 2003). De aquí surge el concepto de competitividad sistémica, que se refiere a la capacidad de un sistema económico para generar y mantener ventajas competitivas sostenibles a largo plazo, incorporando capital humano, infraestructura, innovación, regulación, cultura empresarial y relaciones entre agentes económicos. Esser *et al.* (1996) destacan cuatro niveles analíticos clave: meta (capacidad social y estatal para la acción estratégica), macro (estabilidad macroeconómica), meso (entorno de fomento empresarial) y micro (aprendizaje por interacciones para innovación). Este enfoque holístico analiza la interacción de elementos del sistema económico para impulsar crecimiento y desarrollo, sirviendo como herramienta para diseñar políticas que fortalezcan la competitividad regional o sectorial (Hernández, 2001). La competitividad sistémica se caracteriza por: i) aprendizaje interactivo y dinámico a nivel micro, ii) un sistema nacional de normas e instituciones que incentivan el comportamiento empresarial, y iii) el rol del Estado como coordinador del desarrollo industrial y productivo. Así, conforme aumenta la complejidad organizacional, la coordinación entre gobierno, empresas, educación y sociedad civil se vuelve esencial para un crecimiento sostenido (Dávalos, 1996).

Visión empresarial de la competitividad

La competitividad empresarial puede ser estudiada en diversas vertientes. No obstante, se centran en analizar el desempeño de la compañía en mercados locales, internacionales no considerando su ubicación geográfica (Mora *et al.*, 2015). Algunos analistas argumentan que la competitividad es la capacidad que desarrolla una institución, empresa u organización para conservar o aumentar su participación de mercado, la cual se sostiene bajo una gama de estrategias aplicadas, considerando un crecimiento sostenible de la productividad en la capacidad interorganizacional para participar en las negociaciones con diferentes empresas e instituciones que conforman su entorno competitivo, que es integrado por el sector industrial al que pertenece y el mercado de consumidores, manejando las políticas aplicadas por los gobiernos nacionales, así como las alianzas económicas de orden regional (Solleiro y Castañón, 2005).

Dentro del análisis de competitividad bajo una temática interna, algunos analistas del ramo, como Saavedra (2012 a y b) propone áreas que explican la competitividad en una organización. En esta clasificación, se plantea un área de planeación estratégica, seguido del área producción y operaciones, aprovisionamiento y logística. En tercer lugar, se ubica el aseguramiento de la calidad, sistemas de calidad, seguido de la comercialización. En quinta posición se ubica el área de contabilidad, seguido de áreas como recursos humanos, gestión ambiental y sistemas de información, los cuales son comprobados empíricamente por algunos analistas (Mora *et al.*, 2015), donde ciertos analistas coinciden teóricamente en la relevancia de dichas áreas para detonar ventaja competitiva (Solleiro y Castañón, 2005; Aragón y Rubio, 2016).

Entre los indicadores que se plantean por Saavedra (2012 a y b), se ubica la planeación estratégica, la implementación de la estratégica, manejo de inventarios, ventas, plan exportador y políticas ambientales, cultura organizacional, sistemas informáticos entre otros para explicar la ventaja competitiva a escala interna (véase Tabla 1).

Tabla 1
Indicadores y áreas clave asociadas a la ventaja competitiva

<i>Planeación estratégica</i>	<i>Proceso de Planeación Estratégica</i>
Producción y operaciones, aprovisionamiento, logística	Implementación de la estrategia Planificación y proceso de producción - Capacidad de producción Mantenimiento Investigación y desarrollo Aprovisionamiento
Aseguramiento de la calidad	Manejo de inventarios Ubicación e infraestructura Aspectos generales de la calidad Sistema de calidad
Comercialización	Comercialización Mercado Nacional: mercadeo y ventas, servicios, distribución Mercado Exportación: plan exportador, producto, competencia y mercadeo, distribución física internacional, aspectos de negociación, participación en misiones y ferias
Contabilidad y finanzas	Monitorización de costos y contabilidad Administración financiera Normas legales y tributarias
Recursos humanos	Aspectos generales Capacitación y promoción del personal Cultura organizacional Salud y seguridad industrial
Gestión ambiental	Política Ambiental de la Empresa Estrategia para Proteger el Medio Ambiente Concientización y capacitación del personal en temas ambientales Administración del desperdicio
Sistemas de información	Planeación del Sistema Entradas Procesos Salidas

Fuente: elaborado a partir de Saavedra (2012 b) y de Mora *et al.*, (2015).

Tabla 2
Variables e indicadores de competitividad

<i>Variables</i>	<i>Indicadores</i>
Competitividad	No. de unidades económicas
	Valor de las remuneraciones
	Valor de la producción
	Activos Fijos Totales
	Valor del Activo Total
	Empleos generados
	Valor de los inventarios
Desarrollo regional: Infraestructura	Obra pública
	Instituciones de educación superior
	Escolaridad
	Analfabetismo
	Matricula de licenciatura
Tecnología	Matricula de posgrado
	Índice de innovación
	Centros de investigación
Infraestructura	Programa estatal de ciencia y tecnología
	Formación Brutal del Capital de Trabajo
Política de Inversión	Inversión Extranjera Directa
Oportunidades de desarrollo	Empleo
	PIB <i>per cápita</i>
	Pobreza Alimentaria
	Pobreza de Capacidades
	Pobreza Patrimonial
	Tasa de Desempleo
Capacidad Económica	Tasa de Informalidad
	Aporte al PIB
	Índice de Competitividad

Fuente: elaborado a partir de Saavedra (2012 b).

Algunos analistas han abordado la competitividad a escala nacional e internacional desde una perspectiva comparativa entre economías, señalando su relación con factores como condiciones domésticas e internacionales, demanda interna y externa, e industrias de apoyo y relacionadas (Castro *et al.*, 2014). Entre los indicadores propuestos destacan, para los factores internacionales, la promoción de exportaciones *per cápita* y el promedio de patentes utilitarias; en la demanda doméstica, la tasa de crecimiento poblacional y el porcentaje de importaciones respecto al PIB; y en la demanda externa, el peso de las exportaciones totales y de alto valor en el PIB.

Para las industrias relacionadas y de apoyo, se consideran variables como la calidad de proveedores locales y la cobertura de carreteras conforme a estándares internacionales. En cuanto a estructura y rivalidad, se incluyen indicadores como el tiempo requerido para iniciar negocios y la integración en cadenas de valor, tanto en contextos domésticos como internacionales, donde se destacan la diversificación de exportaciones y el costo de exportación. Estos datos son obtenidos de organismos como la Agencia Central de Inteligencia (CIA), el Banco Mundial (BM), el Foro Económico Mundial (WEF), el Fondo Monetario Internacional (FMI), la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el informe Doing Business. En conjunto, estos indicadores a nivel meso contribuyen a fortalecer el entorno competitivo, en línea con el enfoque sistémico planteado por Esser *et al.* (1996), subrayando la importancia de considerar el papel de las políticas públicas en la medición y promoción de la competitividad.

El papel institucional en la competitividad

Diversos analistas han realizado esfuerzos establecer dimensiones de desempeño que caractericen la competitividad, ya que se tiene preocupación por analizar los alcances institucionalmente, porque se han realizado análisis a escala sectorial sobre las condiciones competitivas (Montoya *et al.*, 2008). Por un lado, algunos analistas revisan el desempeño de la ventaja competitiva a escala empresarial (Porter, 1996 y Pineda, 1997) y por sector industrial (Cantú y Torres, 2022). En un contexto de economía nacional (Bernal y Laverde, 1995), analizan la competitividad en función de la capacidad de respuesta que tiene un país ante la evolución de la internacionalización sostenible (Montoya *et al.*, 2008). No obstante, analistas como Bejarano (1995) mencionan que es importante no perder el objeto de estudio porque son las empresas las que compiten, considerando que la competitividad no es un objetivo de política pública que pueda establecer en un mediano o corto plazo; sino la búsqueda de tener condiciones sostenibles en el largo plazo, mediante la permanencia en un eje rector que son los mercados (Roldán y Espinal, 1998) con la coexistencia de diversos elementos de apoyo, como lo es el gobierno, su sector productivo, clientes y usuarios (Bernal y Laverde, 1995).

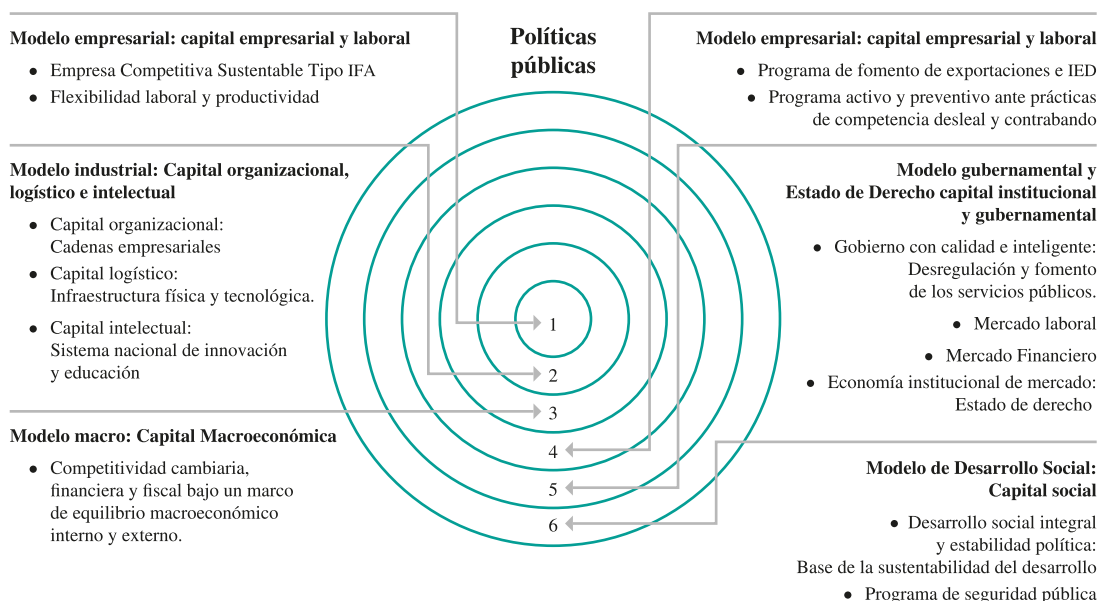
La competitividad puede analizarse desde distintos niveles interconectados, que van de lo empresarial a lo internacional, como se muestra en la Figura 1. Desde una perspectiva microeconómica, Villarreal (2002) destaca que el desempeño empresarial es el punto de partida, especialmente en contextos globales, donde la eficiencia sostenible y la capacidad de adaptación resultan claves. A partir de ahí se articula el nivel meso, vinculado al desarrollo del capital intelectual, organizacional y logístico, que favorece la creación de redes de negocios. En un tercer nivel, el entorno macroeconómico brinda certidumbre mediante políticas fiscales, cambiarias y de estabilidad, actuando como soporte del desarrollo empresarial (Montoya *et al.*, 2008).

Lo anterior permite entender que la competitividad también depende de factores institucionales, sociales y territoriales. Elementos como el Estado de derecho, la calidad de los servicios públicos y la estabilidad política fortalecen el capital institucional y gubernamental. Asimismo, el desarrollo social y el modelo empresarial internacional contribuyen a la capitalización del mercado laboral y al posicionamiento global. En este sentido, la competitividad territorial permite analizar el desempeño económico y social en distintos niveles geográficos, desde lo local hasta lo nacional (Soria, 2017).

Desde 2006, el IMCO ha realizado estudios sobre la competitividad estatal, definiendo este concepto como la capacidad de un estado para atraer inversiones, lo que refleja su enfoque en los factores que favorecen el desarrollo económico regional. No obstante, en 2009 amplió su definición a la capacidad para atraer y retener talento humano (Huber y Mungaray, 2017). Actualmente, el IMCO elabora el Índice de Competitividad Estatal (ICE) para evaluar las fortalezas y debilidades de las 32 entidades federativas de México, con el objetivo de

promover políticas públicas que impulsen la atracción, generación y retención de talento e inversión (IMCO, 2023). En la edición 2023, la evaluación de competitividad estatal está compuesta por 50 indicadores agrupados en seis subíndices, con los que se clasifican los estados por nivel de competitividad.

Figura 1
Desagregación de los factores de la competitividad



Fuente: Villareal (2002).

Algunos casos de estudio sobre competitividad

En esta sección se examina brevemente la relación entre los índices de competitividad, la inseguridad y las exportaciones con el desempeño económico regional. Desde una perspectiva integral, se busca entender cómo interactúan estos factores y cómo pueden orientar políticas públicas para mejorar las condiciones económicas en las regiones.

En México, el uso de índices para evaluar la competitividad es relativamente reciente. Cabrero *et al.* (2009) proponen una metodología para construir un índice de competitividad urbana en ciudades mexicanas (2003 y 2007), basada en cuatro componentes: urbano-ambiental, económico, sociodemográfico e institucional, con el fin de orientar las políticas públicas, mientras que Huber y Mungaray (2017) analizan 20 entidades con los índices del IMCO, hallando una fuerte relación entre posición competitiva e ingreso *per cápita*. También compararon otros índices como los del ITESM, Aregional y el Colegio de la Frontera Norte-UABC, destacando el de Aregional como el más vinculado al ingreso. No obstante, observaron inconsistencias en la relación entre productividad y competitividad, y advirtieron sobre las dificultades metodológicas en la comparación de índices, aunque reconocen la solidez estadística del IMCO.

Los efectos de la inseguridad sobre el desempeño económico regional

La relación entre desempeño económico e inseguridad ha sido poco explorada, aunque los estudios existentes ofrecen aportes relevantes. Bourguignon (1999) plantea que una caída en el ingreso personal incrementa la

pobreza urbana, lo cual eleva la propensión a cometer delitos. Su modelo teórico y análisis empírico indican que una disminución del 5% en el PIB puede aumentar la tasa de criminalidad hasta en un 50%.

Desde otra perspectiva, Detotto y Otranto (2010) utilizan un modelo de vector autorregresivo para evaluar cómo la tasa de homicidios impacta el PIB en Argentina (1979-2002). Encuentran que un aumento del 1% en homicidios reduce el PIB, con un efecto 5% mayor durante las recesiones. Para el caso mexicano, Pan *et al.* (2012) aplican un modelo autorregresivo con datos de las 32 entidades (2005-2009), y concluyen que el crecimiento económico *per cápita* de un estado se ve afectado negativamente por la criminalidad en estados vecinos.

Asimismo, Lozano *et al.* (2012) emplean índices de inseguridad pública nacional y privada, hallando una fuerte correlación entre estos y el crecimiento de la inversión e ingreso *per cápita*. González (2014), con un modelo de regresión de panel para todas las entidades, identifica una correlación negativa entre el PIB estatal *per cápita* y delitos como homicidios, robos y lesiones dolosas. Finalmente, Quiroz *et al.* (2015) muestran que, a largo plazo, variables de inseguridad como homicidios, secuestros y robos afectan negativamente el desempeño económico, medido mediante el IGAE.

Estudios sobre la relación productividad – exportaciones

La relación entre productividad y exportaciones ha sido ampliamente estudiada por su vínculo directo con el desarrollo económico y la competitividad internacional. Dos enfoques explican esta dinámica: la hipótesis de autoselección, que sostiene que solo las empresas más productivas pueden afrontar los costos de exportar y, por tanto, acceder a mercados internacionales; y la hipótesis de aprendizaje, que plantea que las empresas mejoran su productividad al exportar, gracias a la exposición a nuevos mercados, tecnologías y competencias (Haidar, 2012).

Diversos estudios respaldan la hipótesis de autoselección. Clerides *et al.* (1998), en un análisis a nivel planta para Colombia, México y Marruecos, muestran que la productividad y los costos no cambian tras exportar; más bien, las empresas más eficientes son las que logran ingresar al comercio internacional. En la misma línea, Bernard y Jensen (2004), al estudiar el sector manufacturero de Estados Unidos entre 1983 y 1992, concluyen que las empresas más productivas tienden a concentrarse en la exportación conforme aumentan su tamaño y eficiencia.

La evidencia empírica respalda la hipótesis de autoselección tanto en economías desarrolladas como emergentes, lo que resalta la importancia de impulsar la productividad para acceder a mercados globales. En contraste, la hipótesis de aprendizaje cuenta con menor respaldo empírico, ya que los estudios no siempre confirman que exportar genere mejoras significativas en productividad (Aw *et al.*, 1998; Bernard y Jensen, 2004; Haidar, 2012). Por ello, esta investigación parte del supuesto de que son las empresas más productivas las que logran internacionalizarse.

El vínculo entre exportaciones y crecimiento económico

La productividad, estrechamente vinculada al crecimiento económico, suele utilizarse como una variable proxy de eficiencia o del crecimiento potencial de largo plazo, ya que su aumento permite una producción más eficiente y eleva el PIB. En este marco, diversos estudios han identificado una relación directa entre el crecimiento económico y las exportaciones, destacando especialmente los modelos de crecimiento liderados por el sector exportador. Hatemi e Irandoust (2000) sostienen que las exportaciones generan un efecto multiplicador mediante canales como el aumento de la competencia, el acceso a divisas, mejoras en la calidad de productos nacionales, economías de escala y difusión del conocimiento técnico, factores que, en conjunto, impulsan la productividad y el cambio tecnológico.

Desde esta perspectiva, Yee Ee (2016) analiza la validez de esta hipótesis en países del África subsahariana entre 1985 y 2014, utilizando modelos de panel de nueva generación y mínimos cuadrados dinámicos (DOLS), y encuentra una relación positiva de largo plazo entre exportaciones, inversión, gasto público y crecimiento económico. De forma complementaria, Aditya y Acharyya (2013), en un estudio de panel dinámico para 65 países (1965-2005), concluyen que existe un umbral de concentración exportadora a partir del cual la especialización impulsa el crecimiento, mientras que, por debajo de ese umbral, la diversificación resulta clave. También encuentran que las exportaciones de alta tecnología contribuyen significativamente al crecimiento del PIB.

A nivel regional, Shafiullah *et al.* (2017) validan la hipótesis del crecimiento liderado por exportaciones en Australia, diferenciando por sectores (agricultura, minería, manufacturas, entre otros) y regiones (Nueva Gales del Sur, Queensland y Australia Occidental). Sus resultados muestran que las exportaciones de minería y combustibles han sido fundamentales para el crecimiento económico tanto nacional como regional, aunque con trayectorias diferenciadas entre territorios.

II. METODOLOGÍA

El Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (en adelante ITAEE) es un indicador de coyuntura que brinda un panorama general del contexto macroeconómico de las entidades del país, por lo cual ofrece información con mayor desagregación temporal que el PIB anual por Entidad Federativa (en adelante, PIBE). Este indicador proporciona índices de volumen físico, mediante el método de Laspeyres, variaciones porcentuales anuales y acumuladas desglosadas para las economías estatales en su totalidad y por tipo de actividad económica (primarias, secundarias y terciarias), además de presentar los datos regionales en cinco áreas representativas: Norte, Centro-Norte, Centro, Centro-Sur y Sur-Sureste (INEGI, 2023).

Con el propósito de obtener una visión completa del desarrollo económico regional, el ITAEE se estima de manera consistente con las metodologías del PIBE anual y del PIB trimestral a través del método del benchmarking aplicando la técnica de Denton para homologar los datos de estos indicadores. El objetivo de este método consiste en preservar, en la medida de lo posible, los patrones de los cálculos a corto plazo observados en los datos originales, tomando en cuenta las restricciones impuestas por los datos anuales del PIBE. Asimismo, con la intención de sincronizar los cálculos regionales de corto plazo con los resultados del PIB trimestral, se extiende el ajuste basado en la técnica de Denton al incorporar una restricción adicional. Consecuentemente, el ITAEE se ajusta simultáneamente al PIBE y al PIB trimestral (INEGI, 2023).

Con base en la metodología previa y bajo un contexto de crecimiento económico regional en México, el ITAEE puede considerarse como una variable proxy del PIBE debido a su capacidad para reflejar de manera más inmediata las fluctuaciones de la actividad económica, ya que, al tratarse de un indicador trimestral, es posible capturar variaciones en la producción y consumo en intervalos temporales más cortos. Asimismo, el ITAEE desagrega la actividad económica por sectores y regiones, facilitando un análisis pormenorizado de las entidades federativas. Esta descomposición resulta importante para analizar las particularidades del crecimiento regional, permitiendo correlacionar sus variaciones con factores explicativos tales como las exportaciones, las cuales pueden incidir en el crecimiento regional, bajo el régimen de economías abiertas, aunque con efectos diferenciados dada la heterogeneidad predominante entre los distintos sectores productivos a nivel estatal.

El Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) tiene una metodología basada en seis dimensiones: a) innovación y economía, b) infraestructura, c) mercado de trabajo, d) sociedad y medio ambiente, e) derecho

y f) sistema político y gobiernos (IMCO 2023), los cuales tienen un total de 50 indicadores para explicar cada dimensión que conforma un índice general. Asimismo, cada dimensión es conformada por diversos indicadores para explicar el valor de cada subíndice. En este sentido, se analizan indicadores relacionados con la competitividad en las dimensiones de Infraestructura, Economía y Estado de Derecho, donde solo cuatro de ellos fueron significativos en las regresiones panel y tres significativos en la regresión agrupada. En secciones posteriores, se especifican en las características de las variables y su descripción.

La información fue obtenida del Instituto Nacional, Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). Específicamente, el ITAEE fue obtenido por el primer instituto y los otros indicadores por el segundo en mención. La selección de entidades federativas se basó en la clasificación del ranking en su edición 2023 del IMCO, donde nueve entidades federativas tenían datos completos en el ITAEE para el periodo 2018-2023. En el mismo sentido aplica para los indicadores que conforman una parte del índice de dimensión.

Siguiendo los criterios de inclusión y exclusión, la muestra se conforma por la recopilación de información de entidades como Ciudad de México, Querétaro, Nuevo León, Coahuila, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua, Sonora y Baja California. Sin embargo, la entidad de Baja California fue excluida del análisis debido a la falta de registros completos en el indicador ITAEE trimestral (véase Tabla 3).

Tabla 3
Nivel de competitividad de las 10 principales entidades federativas

<i>Entidad federativa</i>	<i>Posición</i>	<i>Competitividad</i>
Ciudad de México	1	Muy alta
Querétaro	2	Alta
Nuevo León	3	Alta
Coahuila	4	Alta
Baja California Sur	5	Alta
Jalisco	6	Alta
Aguascalientes	7	Media Alta
Chihuahua	8	Media Alta
Sonora	9	Media Alta
Baja California	10	Media Alta

Fuente: IMCO (2023).

Las variables involucradas dentro del análisis son el ITAEE como variable dependiente y las independientes son la infraestructura de internet, los puntos de venta de tarjeta de crédito y la percepción de inseguridad ciudadana, donde el ITAEE y las terminales de puntos de venta (PV) son índices, el acceso a internet y la inseguridad son porcentajes (Tabla 4).

Tabla 4
Características de las variables que conforman la muestra

<i>Variable</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Tipo</i>	<i>Descripción</i>
ITAAEE	Índice	Discontinua	Números de índices de volumen físico (2018= 100)
Exportaciones	Porcentaje	Discontinua	Porcentaje del PIB
Internet	Porcentaje	Discontinua	Porcentaje del total de las viviendas que cuenta con acceso a internet
Inseguridad	Porcentaje	Discontinua	Porcentaje de la población de 18 años y más que se siente segura en su entidad federativa
Terminales PV	Índice	Discontinua	Terminales punto de venta por cada 10 mil adultos

Fuente: elaboración propia con información del IMCO (2023) y de INEGI (2023).

Se aplica una regresión agrupada (pooled), un panel efectos fijos y aleatorios. La ecuación 1 corresponde a la regresión agrupada, donde α es el intercepto común para toda $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ entidades federativas y $t = 2018, 2019, \dots, 2023$. Por su parte, de β_1 a β_4 son coeficientes correlacionados con cada una de las variables de orden explicativo del modelo. El término de error se representa por U_{it} .

a) Agrupada:

$$ITAAEE_{it} = \alpha + \beta_1 Exportaciones_{it} + \beta_2 Internet_{it} + \beta_3 Inseguridad_{it} + \beta_4 TerminalPV_{it} + U_{it} \quad (1)$$

Por otra parte, bajo el método de regresión con efectos fijos, el intercepto no es común para todas las unidades de observación, sino que varía entre ellas. Este rasgo se representa añadiendo un subíndice i , razón por la cual el intercepto se representa como α_i . Es necesario recordar que los métodos de efectos fijos y efectos aleatorios constituyen una proporción de los modelos de componente de error, donde éste último añade el efecto inobservable c_i además de u_{it} y es especificado de la forma $v_{it} = c_i + u_{it}$. No obstante, la estimación por efectos fijos requiere la eliminación de c_i . En estas circunstancias, la ecuación 1 se transforma como en la ecuación 2.

b) Efectos Fijos:

$$ITAAEE_{it} = \alpha_i + \beta_1 Exportaciones_{it} + \beta_2 Internet_{it} + \beta_3 Inseguridad_{it} + \beta_4 TerminalPV_{it} + U_{it} \quad (2)$$

La regresión panel bajo el criterio de efectos con aleatoriedad discrepa de su homóloga agrupada y de la de efectos fijos en dos cuestiones, una es en el intercepto y la otra recae en el error. En el supuesto de efectos aleatorios el intercepto es α_1 y su principal característica de este recae en que es un valor medio. Por ende, se plantea que las unidades a analizar posean una media común para el intercepto. El término del error es v_{it} y esto es a razón de que en efectos con aleatoriedad se concibe que c_i no registra correlación con ninguna de las variables de orden explicativo, es así como se presenta la necesidad de aplicar alguna técnica o método para removerlo de la ecuación 2. El modelo con criterio de efectos con aleatoriedad se representa así:

c) Efectos Aleatorios:

$$ITAAEE_{it} = \alpha_1 + \beta_1 Exportaciones_{it} + \beta_2 Internet_{it} + \beta_3 Inseguridad_{it} + \beta_4 TerminalPV_{it} + v_{it} \dots \quad (3)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la metodología de datos de panel, la elección entre un modelo balanceado o no balanceado tiene implicaciones analíticas relevantes. Un panel balanceado garantiza que todas las unidades de observación dispongan de información completa en cada periodo, lo que facilita la comparación y asegura mayor homogeneidad. Sin embargo, un panel no balanceado puede resultar igualmente útil, ya que permite ampliar la muestra al incluir unidades con información incompleta, aportando evidencia adicional que enriquece la estimación empírica.

En la Tabla 5 se reportan los coeficientes estimados de los tres modelos. Los resultados de la prueba F y de Hausman sugieren que el uso de modelos de datos de panel es apropiado; sin embargo, la prueba de Breusch-Pagan indica que la opción más adecuada es la regresión agrupada (pooled). A su vez, las pruebas de normalidad, colinealidad y especificación confirman que el modelo estimado resulta estadísticamente válido.

Tabla 5
Pruebas estadísticas que avalan la validez del modelo agrupado

<i>Prueba de Hausman (Efectos aleatorios o fijos)</i>	
ITAEE	Pr > Chi2 = 0.2294
<i>Prueba F (efectos fijos vs agrupada)</i>	
ITAEE	Pr > F = 0.00005
<i>Prueba Breusch Pagan LM (Aleatoria o Agrupada)</i>	
ITAEE	Prob > chibar2 = 0.4709
<i>Prueba de Normalidad (Shapiro-Francia)</i>	
ITAEE	Prob > Z = .18252
<i>Prueba de Multicolinealidad VIF</i>	
ITAEE	Mean VIF = 1.37
<i>Prueba de Ramsey (Especificación)</i>	
ITAEE	Prob > F = 0.2683

Fuente: Estimaciones propias con información del IMCO (2023) y del INEGI (2023).

De acuerdo con la Tabla 6, los resultados indican que las exportaciones tienen un efecto positivo y significativo sobre el ITAEE (coeficiente 0.1347, nivel de significancia del 90%), lo cual coincide con investigaciones previas que establecen una relación positiva entre exportaciones y PIB (Aditya y Acharyya, 2013; Yee Ee, 2016; Shafiullah *et al.*, 2017). Esta investigación contribuye al utilizar el ITAEE como variable proxy del PIB a nivel estatal para ofrecer una perspectiva regional más detallada. La percepción de inseguridad muestra un impacto negativo significativo sobre el ITAEE (coeficiente -61.1909, significancia 95%), consistente con estudios que asocian alta inseguridad con menor actividad económica (Bourguignon, 1999; Detotto y Otranto, 2010; Lozano *et al.*, 2012; González, 2014; Quiroz *et al.*, 2015). Por último, las terminales punto de venta tienen un coeficiente negativo (-0.1415), lo que puede explicarse porque en periodos de recesión económica, cuando el ITAEE es bajo, algunas empresas, especialmente micro y pequeñas, incrementan el número de terminales para atraer clientes, aunque con menores márgenes; mientras que, en expansión, las grandes empresas optimizan y reducen puntos de venta, aumentando eficiencia y ventas.

Tabla 6
Resultados de la regresión agrupada, efectos fijos y aleatorios (variable ITAEE)

<i>Variable ITAEE</i>	<i>Pooled MCO</i>	<i>Efectos Fijos</i>	<i>Efectos Aleatorios</i>
Exportaciones	0.1346729*	-.4549458	.1346729**
Percep. de Seguridad	-61.19088**	-43.2182	-61.19088***
Terminales PV	-0.1414851*	-.2268281***	-.1414851***
Internet	79.4165	87.07628***	79.4165***
Constante	385.9568	425.13	385.9568
P > F	0.0059		0.0000
Pr > Chi2		0.0000	
N	54	54	54
Significancia *90%	**95%	***99%	

Fuente: estimaciones propias con información del IMCO (2023) y del INEGI (2023).

CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos por esta investigación, es posible señalar que el efecto positivo de las exportaciones sobre el ITAEE pone de manifiesto la relevancia del comercio internacional como motor del crecimiento económico estatal, a partir del aumento en la demanda externa, lo cual estimula la producción local, genera empleos y fortalece las cadenas de suministro regionales. Concretamente, aquellos estados con economías orientadas hacia el sector externo pueden aprovechar este dinamismo para atraer inversión extranjera y diversificar sus sectores productivos. No obstante, es fundamental que las políticas públicas fomenten la competitividad internacional, facilitando el acceso a infraestructura, tecnología y mercados para maximizar los beneficios de este vínculo con el ITAEE. En cuanto a la percepción de inseguridad y el número de terminales puntos de venta, ambas variables muestran una relación inversa sobre el ITAEE, aunque por diferentes razones. El coeficiente asociado a la percepción de inseguridad señala cómo la falta de confianza en la seguridad impacta drásticamente en la actividad económica al desincentivar la inversión, reducir el consumo local y afectar la operación de las empresas. Análogamente, aunque con un efecto menor, el aumento de los terminales puntos de venta puede reflejar un comercio menos formalizado o la predominancia de pequeños negocios que contribuyen marginalmente al ITAEE. Estas relaciones destacan la necesidad de abordar problemas estructurales como la inseguridad y la informalidad para impulsar el desarrollo económico de las entidades federativas.

Finalmente, los objetivos y la hipótesis de investigación se alcanzan y demuestran parcialmente, ya que el estudio revela que la infraestructura informática empresarial no necesariamente tiene un impacto positivo en la expansión económica. No obstante, los hallazgos son relevantes, ya que subrayan el papel crucial de la inseguridad, un factor que debe ser considerado por los responsables de la política pública a nivel regional, quienes deben asumir una postura de responsabilidad central en la promoción de la competitividad. Las limitaciones del estudio se deben a la falta de información del ITAEE en otras entidades durante los períodos establecidos, lo que impide realizar un análisis más amplio. Además, no todas las fuentes proporcionan la información requerida por el IMCO para su análisis, lo que limita la posibilidad de investigar sectores industriales específicos.

REFERENCIAS

- Aditya, A. y Acharyya, R. (2013). Export diversification, composition, and economic growth: Evidence from cross-country analysis. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 22(7), 959-992. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2016.11.002>
- Álvarez, R. y García, A. (2010). Productividad, innovación y exportaciones en la industria manufacturera chilena. *El Trimestre Económico*, 77(305), 155-184. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2010000100155
- Aragón, A. y Rubio, A. (2016). Factores explicativos del éxito competitivo: el caso de las PYMES del estado de Veracruz. *Contaduría y Administración*, (216), 36-69. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2005.568>
- Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173. <https://doi.org/10.2307/2295952>
- Aw, B., Chung, S. y Roberts, M. J. (1998). Productivity and the decision to export: micro evidence from Taiwan and South Korea. *NBER Working Papers*, w6558. National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w6558>
- Bejarano, J. (1995). Elementos para un enfoque de la competitividad en el sector agropecuario. Colección de documentos IICA. *Serie competitividad*, (3), 23-26. <https://hdl.handle.net/11324/7262>
- Benavides, S., Muñoz, J. y Parada, A. (2004). El enfoque de competitividad sistémica como estrategia para el mejoramiento del entorno empresarial. *Economía y Sociedad*, 9(24), 119-137. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/economia/article/view/1097/1021>
- Bernard, A. y Jensen, J. (2004). Exporting and productivity in the USA. *Oxford Review of Economic Policy*, 20(3), 343-357. <https://faculty.tuck.dartmouth.edu/images/uploads/faculty/andrew-bernard/exprod.pdf>
- Bernal, C. y Laverde, J. (1995). *Proyecto de modernización de las Pymes. Gestión Tecnológica*. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA.
- Bourguignon, F. (1999). Criminalidad, violencia y desarrollo inequitativo. *Revista de Planeación y Desarrollo*, 30(3), 15-46. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/RevistaPD/1999/pd_vXXX_n3_1999_art.2.pdf
- Braidot, F. H. y Nicolini, J. (2007). *Desarrollo de una metodología de diagnóstico para empresas PyMES industriales y de servicios: Enfoque basado en los sistemas de administración para la Calidad Total*. Universidad Nacional General de Sarmiento. https://www.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/pdfs_ediciones/Desarrollo_de_una_metodolog%C3%ADa_de_diagn%C3%B3stico_para_empresas_PyMES_industriales_y_de_servicios-resumen.pdf
- Cabrero, M., Orihuela, I. y Ziccardi, A. (2009). Competitividad urbana en México: una propuesta de medición. *Revista Eure*, 35(106), 79-99. <https://www.redalyc.org/pdf/196/19611824005.pdf>
- Camagni, R. (2002). On the concept of territorial competitiveness: sound or misleading? *Urban Studies*, 39(13), 2395-2411. <https://doi.org/10.1080/0042098022000027022>
- Cantú, J. L. y Torres, F. (2022). Desempeño de innovación sustentable y ventaja competitiva sustentable en organizaciones manufactureras. *Interciencia*, 47(7), 264-270. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/07/02_6878_A_Cantu_v47n7_7-1.pdf
- Castro, G. S., Peña, V. J., Ruiz, T. A. y Sosa, J. C. (2014). Estudio intrapaíses de la competitividad global desde el enfoque del doble diamante para Puerto Rico, Costa Rica y Singapur. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de Empresa*, 20(3), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.iedee.2013.09.001>
- Clerides, S., Lach, S. y Tybout, J. (1998). Is Learning by Exporting Important? Micro Dynamic Evidence from Colombia, Mexico and Morocco. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(3), 903-947. <https://www.jstor.org/stable/2586877>

- Dávalos, L. (1996). Competitividad Regional. Un punto de partida. *Revista Debates IESA*, (3), 30-34.
- Detotto, C. y Otranto, E. (2010). ¿Afecta la delincuencia al crecimiento económico? *Kyklos. International Review for Social Sciences*, 63(3), 330-345. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6435.2010.00477.x>
- Enright, M., Francés, A. y Scott, E. (1994). *Venezuela, el reto de la competitividad*. Ediciones IESA.
- Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D. y Meyer, J. (1996). Competitividad sistémica: nuevo desafío para las empresas y la política. *Revista de la CEPAL*, (59), 39-52. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/928e863f-9ee3-4b53-8b4b-f3cfbc7de4fb/content>
- Fajnzylber, F. (1988). Competitividad Internacional: Evolución y Lecciones. *Revista de la CEPAL*, (36), 7-24. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/079b02cd-4a37-4c9d-8a83-5de3a3d6e2eb/content>
- Ferrer, J. (2005). Competitividad Sistémica. Niveles analíticos para el fortalecimiento de sectores de actividad económica. *Revista de Ciencias Sociales*, 11(1), 149-166. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rcs/article/view/25279/25900>
- García, A., Álvarez, E., Cabrera, J., Quiñones, N., Gálvez, I. y Fernández, C. (2003). *Política Industrial, reconversión productiva y competitividad. La experiencia cubana de los noventa* [informe]. Instituto Nacional de Investigaciones Económicas y Ministerio de Economía y Planificación.
- Gaviria, M. (2007). El crecimiento endógeno a partir de las externalidades del capital humano. *Cuadernos de Economía*, 26(46), 51-73. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/1557/2204>
- González, A. S. (2014). Criminalidad y crecimiento económico regional en México. *Frontera Norte*, 26(51), 75-111. <https://www.redalyc.org/pdf/136/13630748004.pdf>
- Grossman, G. y Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *Journal of Economic Perspectives*, 8(1), 23-44. <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.23>
- Haidar, J. I. (2012). Trade and productivity: Self-selection or learning-by-exporting in India. *Economic Modelling*, 29(5), 1766-1773. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.05.005>
- Hatemi, A. e Irandoust, M. (2000). Time Series Evidence for Balassa's Export-Led Growth Hypothesis. *The Journal of International Trade and Economic Development*, 9(3), 355-365. <https://doi.org/10.1080/09638190050086195>
- Hernández, R. (2001). Elementos de competitividad sistémica de las pequeñas y medianas empresas (PYME) del Istmo Centroamericano. *Serie Estudios y Perspectivas*, (5), 1-59, CEPAL-ONU. <https://hdl.handle.net/11362/4972>
- Huber, B. G. y Mungaray, L. A. (2017). Los índices de competitividad en México. *Política y Gestión Pública*, 26(1), 167-218. <https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v26n1/1405-1079-gpp-26-01-00167.pdf>
- INEGI (2023). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Fuentes y metodologías. Año base 2018*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/pibent/2018/doc/met_cab2018.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad (2023). *Índice de Competitividad Estatal 2023*. <https://imco.org.mx/indices/indice-de-competitividad-estatal-2023>
- Ivancevich, J. y Lorenzi, P. (1997). *Gestión de calidad y competitividad* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Lozano, R., Cabrera, L. y Lozano, M. (2012). La delincuencia y su efecto sobre el crecimiento económico. El caso de México. *MPRA Paper*, 39678. University Library of Munich, Germany. <https://ideas.repec.org/p/pramprapa/39678.html>
- Lucas, R. (1988). On the Mechanism of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)

- Martínez, R., Charterina, J. y Araujo, A. (2010). Un modelo causal de competitividad empresarial planteado desde la VBR: capacidades directivas, de innovación, marketing y calidad. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(2), 165-188. <https://www.redalyc.org/pdf/2741/274120099009.pdf>
- Mora, E., Vera, M. y Melgarejo, Z. A. (2015). Planificación estratégica y niveles de competitividad de las Mipymes del sector comercio en Bogotá. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.08.001>
- Montoya, L., Montoya, I. y Castellanos, O. F. (2008). De la noción de competitividad a las ventajas de la integración empresarial. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 16(1), 59-70. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfce/article/view/4483/3472>
- Muñoz, E., López, A. y Sarmiento, Y. (2022). Metropolización y turismo en ciudades intermedias. Análisis de la competitividad territorial del turismo en Bello, Colombia. *Urbano*, 25(44), 42-53. <https://doi.org/10.22320/07183607.2022.25.45.04>
- Pan, M., Widner, B. y Enomoto, C. E. (2012). Growth and Crime in Contiguous States of Mexico. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 24(1-2), 51-64. <https://doi.org/10.1111/j.1467-940x.2012.00188.x>
- Porter, M. (1996). What is strategy? *Harvard Business Review*, 74(6), 61-78. <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=10698>
- Pineda, L. (1997). *Taller de trabajo sobre competitividad y estrategias de innovación tecnológica y organizacional. Memorias del Postgrado en Gestión Tecnológica*. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería.
- Quiroz, J., Castillo, R., Ocegueda, J. M. y Llamas, R. (2015). Delincuencia y actividad económica en México. *Norteamérica*, 10(2), 187-209. <https://www.scielo.org.mx/pdf/namerica/v10n2/1870-3550-namerica-10-02-00187.pdf>
- Ravelo, R. y Mendoza, M. (2023). Competitividad territorial y desarrollo local. *Equidad y Desarrollo*, (42), 187-206. <https://doi.org/10.19052/eq.vol1.iss42.9>
- Roldán, D. y Espinal, C. (1998). ¿Son posibles los acuerdos de competitividad en el sector agroproductivo? *Colección de documentos IICA, Serie Competitividad*, (3). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/29537>
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037. <https://www.jstor.org/stable/1833190>
- Romer, P. (1992). Two Strategies for economic development using ideas and producing Ideas. *The World Bank Economic Review*, 6(1), 63-91. https://doi.org/10.1093/wber/6.suppl_1.63
- Rosales, O. (1995). Políticas de competitividad y desarrollo productivo. *Revista de Comercio Exterior*, 45(1), 237-244. <https://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/311/5/RCE5.pdf>
- Saavedra, M. L., Camarena, M. A. y Tapia, B. (2017). Calidad para la competitividad en las micro, pequeñas y medianas empresas, de la Ciudad de México. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(80), 551-572. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29055967002>
- Saavedra, M. L. (2012a). Una propuesta para la determinación de la competitividad en la pyme latinoamericana. *Revista Pensamiento y Gestión*, (33), 93-124. <https://www.redalyc.org/pdf/646/64624867005.pdf>
- Saavedra, M. L. (2012b). *Hacia la competitividad de la PyME latinoamericana: Competitividad macro* (Macroproyecto de investigación). Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorios.fca.unam.mx/alafec/docs/macroyectos/competitividad_macro.pdf
- Sarmiento, Y., Muñoz, E., Hechavarría, J. R., López, A. y Pérez, Y. (2023). Competitividad de ciudades en el contexto latinoamericano: un análisis bibliométrico y de redes sociales. *Revista Española de Documentación Científica*, 46(2), 1-18. <https://doi.org/10.3989/redc.2023.2.1974>

- Shafiullah, M., Selvanathan, S., y Naranpanawa, A. (2017). The role of export composition in export-led growth in Australia and its regions. *Economic Analysis and Policy*, 53, 62-76. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2016.11.002>
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solleiro, J. y Castañón, R. (2005). Competitiveness and innovation systems: The challenges for México's insertion in the global context. *Technovation*, 25(9), 1059–1070. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.02.005>
- Soria, R. (2017). Impacto de la violencia e inseguridad en la competitividad de los estados mexicanos. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17(54), 279-307. <https://doi.org/10.22136/est002017802>
- Suñol, S. (2006). Aspectos Teóricos de la Competitividad. *Ciencias y Sociedad*, 31(2), 179-198. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7438487>
- Villarreal, R. (2002). *México Competitivo 2020: el Modelo de Competitividad Sistémica para el Desarrollo*. Editorial Océano.
- Yee, C. (2016). Export-Led Growth Hypothesis: Empirical Evidence from Selected Sub-Saharan African Countries. *Procedia Economics and Finance*, 35, 232–240. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)00029-0](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)00029-0)

Profundización financiera, innovación y tipo de cambio real: el caso de México y Corea del Sur, 1970-2020

Financial development, innovation, and the real exchange rate: the case of Mexico and South Korea, 1970–2020

Billy Josué Jiménez Díaz*

*Economista–Profesor, Universidad Autónoma Metropolitana.

Correo electrónico: billyjd@xanum.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8119-476X>

RESUMEN

El objetivo del trabajo es analizar las implicaciones de la profundización financiera, la innovación tecnológica y la estructura de costos en la dinámica cambiaria. Para ello, mediante un modelo panel dinámico, se evalúa el impacto de la estructura financiera, la capacidad tecnológica y los costos laborales unitarios (CLU) sobre el tipo de cambio real (TCR), en 14 subsectores manufactureros de México y Corea del Sur, durante el periodo 1990-2020. Los resultados principales revelan que: i) las fluctuaciones de CLU tienen efectos mixtos sobre el TCR; ii) en Corea del Sur, la dinámica financiera permite reducir la volatilidad cambiaria; iii) los choques en productividad estabilizan la paridad cambiaria en dicho país. En virtud de estos resultados es importante el diseño de políticas económico/financieras orientadas a dinamizar los salarios, fomentar la tasa de innovación, impulsar la liquidez y, por ende, la eficiencia industrial; que en conjunto aseguren el equilibrio cambiario.

ABSTRACT

This study aims to analyze the implications of financial deepening, technological innovation, and cost structures on exchange rate dynamics. Using a dynamic panel model, the research evaluates the impact of financial structure, technological capacity, and unit labor costs (ULC) on the real exchange rate (RER) across 14 manufacturing subsectors in Mexico and South Korea from 1990 to 2020. The main findings reveal that: (i) ULC fluctuations exert mixed effects on the RER; (ii) in South Korea, financial dynamics contribute to reducing exchange rate volatility; and (iii) productivity shocks stabilize exchange rate parity in that country. Based on these results, the design of economic and financial policies aimed at boosting wages, fostering innovation rates, enhancing liquidity, and improving industrial efficiency is crucial to ensuring exchange rate stability.

Recibido: 04/diciembre/2024

Aceptado: 23/mayo/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Tipo de cambio real |
| Innovación tecnológica |
| Productividad |
| Desarrollo financiero |

Keywords:

| Real exchange rate |
| Technological innovation |
| Productivity |
| Financial development |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

F31, E44, O16, O33

INTRODUCCIÓN

El estudio del tipo de cambio real ha transitado en diversos enfoques, desde los principios clásicos de Adam Smith, hasta las modernas teorías del comercio internacional, destacando su importancia en el análisis del crecimiento económico, la competencia y los precios. Este análisis se ha enriquecido con enfoques que exploran cómo la especialización productiva, el comercio y la entrada de capitales no productivos impactan en la paridad cambiaria real (Shaikh, 2016; Ros y Lustig, 2000; Rodrik, 2008; Frankel, 1984; Lee, 2021). En este contexto, la paridad cambiaria real se configura como un eje central para entender las dinámicas de desarrollo y estabilidad económica en distintas economías.



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

En el caso de México, desde la década de 1980, su economía ha crecido de forma moderada, afectada por choques externos, vulnerabilidades estructurales y deficiencias en productividad laboral y salarios. La falta de profundización financiera también ha limitado la inversión en capital físico y tecnológico, generando una estructura productiva heterogénea entre sectores comerciables y no comerciables. Esto ha contribuido a la inestabilidad del tipo de cambio real en el país.

Tanto Corea del Sur como México han experimentado trayectorias económicas profundamente condicionadas por la intervención estatal, aunque con estrategias y resultados diferenciados. En el caso surcoreano, el crecimiento sostenido desde la década de 1970 ha sido el resultado de un modelo de industrialización dirigido por el Estado, caracterizado por una política activa de promoción de sectores estratégicos, la consolidación del aparato productivo y el fortalecimiento del sistema financiero nacional. En contraste, la economía mexicana ha estado marcada por un proceso de reformas estructurales orientadas a la liberalización y desregulación de los mercados, con efectos significativos sobre la dinámica del tipo de cambio real. En ambos contextos, los determinantes de la paridad cambiaria real exhiben una alta sensibilidad a variables de política económica, entre las cuales destacan la tasa de interés y el grado de profundización del sistema financiero. Adicionalmente, la inversión sostenida en investigación y desarrollo, así como en capital humano y físico, constituye un vector clave para el aumento de la productividad y la preservación de la competitividad estructural, coadyuvando a la estabilidad de la tasa cambiaria real en el largo plazo.

Este estudio se propone analizar la consistencia de los determinantes del tipo de cambio real en un modelo híbrido que abarca a México y Corea del Sur durante el periodo 1990-2020. En este sentido, se asume que, en el largo plazo, el tipo de cambio real está determinado por la estructura de costos y los choques de productividad, mientras que, en el corto plazo, su dinámica se encuentra asociada al desempeño del sistema financiero y monetario (Shaikh, 1980, 2016; Thirlwall, 2011; Martínez, 2010; Clark y MacDonald, 1999; Edwards y Savastano, 1999; Frankel, 1984).

Para operacionalizar esta hipótesis, se utiliza un modelo de panel dinámico, estimado mediante métodos de momentos generalizados (MMG) y medias agrupadas promedio (PMG), en el marco de un modelo híbrido del tipo de cambio real. La contribución de este trabajo es doble. En primer lugar, se integran nuevos enfoques teóricos sobre la determinación del tipo de cambio real, basados en principios de competencia imperfecta, deslocalización de la producción y desarrollo institucional y financiero. En segundo lugar, realiza un análisis empírico detallado a nivel industrial, con una desagregación que permite identificar los determinantes del tipo de cambio real en el sector manufacturero. En esta ruta, futuras investigaciones podrían enfocarse en estudiar las asimetrías cambiarias y los efectos de la política monetaria de Estados Unidos sobre los tipos de cambio de economías como México y Corea del Sur.

El artículo se estructura en cinco secciones. La primera presenta una discusión del marco teórico sobre los determinantes del tipo de cambio real; la segunda revisa la literatura empírica de frontera; la tercera aborda hechos estilizados sobre la economía y el patrón de especialización financiera y comercial de los países en estudio; la cuarta expone la metodología econométrica y los resultados empíricos; y la última sección ofrece las conclusiones.

I. ELEMENTOS TEÓRICOS

En la literatura teórica existen diversos enfoques sobre la formulación y el papel de la paridad cambiaria real. Entre ellos, se destacan: i) la vertiente de los Costos Laborales Verticalmente Integrados (CLVI), donde las fluctuaciones del tipo de cambio real son resultado de variaciones en los componentes del CLVI (Shaikh, 2016);

ii) los enfoques de equilibrio fundamental y de comportamiento, que consideran factores como los flujos de capital, la deuda, la volatilidad bursátil y las tasas de interés como determinantes clave (Edwards y Savastano, 1999; Clark y MacDonald, 1998); y iii) los modelos basados en choques de productividad, en los que la dinámica del TCR se ve influida por cambios en la capacidad de innovación (Dossi *et al.*, 1997; Begum, 2000; Aghion *et al.*, 2006). Para analizar los determinantes del TCR, esta investigación se apoya en el enfoque de Shaikh (2016), que establece que los CLVI determinan al tipo de cambio real a largo plazo, a partir de la eficiencia laboral y los requerimientos de trabajo para bienes comerciables y no comerciables:

$$\varepsilon_{ab} = \tilde{\lambda}_r \tilde{P}_t \sigma \quad (1)$$

En esta formulación, ε_{ab} es el tipo de cambio real $\tilde{\lambda}_r = \frac{\lambda_b}{\lambda_a}$ bilateral, representan los costos laborales reales verticalmente integrados de la economía nacional y extranjera a, b ; mientras que $\tilde{P}_t = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)$ constituyen los precios relativos del país doméstico ajustados por el índice de precios del país extranjero; en tanto que σ incorpora los términos de intercambio de los sectores comerciables.

La ecuación (1) establece que el tipo de cambio real, a largo plazo, está directamente relacionado con la estructura de costos de eficiencia laboral y las remuneraciones salariales. Sin embargo, esta vertiente teórica no aborda de manera exhaustiva los efectos de factores como la innovación y los aspectos financieros, que pueden introducir desviaciones tanto a corto como a largo plazo. En este contexto, el trabajo amplía la teoría de los CLVI incorporando los planteamientos de Aghion *et al.* (2006), Begum (2000), Edwards y Savastano (1999), Clark y MacDonald (1998), proponiendo un análisis integral que considere factores estructurales, financieros y de innovación tecnológica en la dinámica del TCR.

Los estudios de equilibrio fundamental y de comportamiento analizan el impacto de los flujos de capital y la volatilidad de las tasas de interés sobre el tipo de cambio real. La movilidad de capitales y la integración financiera entre países afectan los flujos de inversión y la disponibilidad de crédito, lo que a su vez influye en los proyectos de inversión en I+D. En este sentido, el desarrollo financiero puede evaluarse mediante la siguiente ecuación de flujo de capital neto:

$$\phi = i_d - i_f + C_p \quad (2)$$

Donde i_d y i_f representan las tasas de interés de la economía doméstica y foránea, respectivamente. C_p es el crédito del sector privado. Una mayor disponibilidad de crédito en sectores comerciables impulsa la productividad y permite a las economías sostener proyectos de inversión, afectando directamente la paridad cambiaria real. Además, los sectores no comerciables, al depender de estructuras financieras menos integradas globalmente, experimentan mayor volatilidad, lo que incide en la estabilidad del tipo de cambio real.

Siguiendo a Begum (2000), la ecuación (1) se descompone en términos de los precios relativos en función de la estructura de costos de los sectores de bienes comerciables y no comerciables. En este contexto, el modelo incorpora las diferencias en innovación y productividad entre ambos tipos de sectores, lo cual afecta los precios de manera diferenciada (Aghion & Howitt, 2009)¹.

1. La tasa de innovación es: $A_i = \frac{\pi(\gamma-1)}{\theta\psi}$ donde: $(\gamma-1)$ representa el tamaño de la innovación, mientras que θ constituye el grado de profundización financiera, el cual está determinado por el costo de factibilidad (fR_i) y la probabilidad de financiar un proyecto de inversión en I+D factible (ξ), siendo (ψ) el costo de innovar.

Por construcción, la ecuación (3) representa la relación de precios para los bienes comerciables:

$$\frac{P_{Ta}}{P_{Tb}} = \eta \frac{k_a}{k_b} * \frac{A_a}{A_b} \quad (3)$$

Donde: P_{Ta} y P_{Tb} son los precios de los bienes comerciables en la economía nacional y en el extranjero, respectivamente; η es el parámetro de elasticidad del capital; k_a y k_b representan los acervos de capital en las economías doméstica y extranjera; A_a y A_b representan las tasas de innovación en ambas economías.

La ecuación (4) exhibe la relación de precios para los bienes no comerciables:

$$\frac{P_{Na}}{P_{Nb}} = \psi \frac{L_a}{L_b} \quad (4)$$

Donde P_{Na} y P_{Nb} representan los precios de los bienes no comerciables en la economía doméstica y en el extranjero; ψ es el parámetro de elasticidad de la mano de obra; L_a y L_b denotan la oferta laboral en ambas economías.

Las ecuaciones previas destacan que los sectores de bienes comerciables, por su exposición a la competencia global, son más sensibles a los cambios en innovación y capital, mientras que los bienes no comerciables, al depender de factores laborales y estar menos sujetos a la competencia internacional, experimentan menos variabilidad en sus precios.²

En este contexto, el modelo híbrido de este trabajo incorpora los factores que constituyen a la tasa de innovación y al desarrollo financiero como factores que influyen en el TCR. La siguiente función de reacción establece que el esfuerzo tecnológico y la profundización del sistema financiero condicionan los precios relativos y, en consecuencia, al tipo de cambio real:

$$\varepsilon_{ab} = \tilde{\lambda}_r * \left(\frac{A_a}{A_b} \right) * \frac{F}{\sigma} \quad (5)$$

Donde: $\tilde{\lambda}_r$, A_a y A_b son los CLVI y las tasas de innovación en la economía doméstica y en el extranjero; F representa el flujo neto de capitales, que es un reflejo del desarrollo financiero y σ son los términos del intercambio.

La ecuación (5) establece que el flujo de capital y el grado de innovación en los sectores comerciables afectan directamente al TCR, ya que el incremento en la productividad reduce los costos en sectores expuestos al comercio internacional, favoreciendo la competitividad de la economía doméstica. En esta senda, se reescribe la expresión anterior como sigue:

$$\varepsilon_{ab} = \tilde{\lambda}_r * \tilde{A}_{a,b}^\gamma * \frac{F}{\sigma} * \tilde{K}_{a,b}^a \quad (6)$$

2. Donde C_{iN} y C_{iN}^* representan el crecimiento relativo de la producción en los sectores menos comerciables de la economía nacional y extranjera, respectivamente, en comparación con los sectores comerciables. Asimismo, g_i^N y g_i^{*N} denotan las tasas de innovación tecnológica en los sectores no comerciables de ambas economías. La relación $\left(\frac{\partial TCR_t}{\partial C_{iN}} \right) > 0$ implica que un aumento relativo de la productividad en los sectores no comerciables domésticos genera una reasignación de recursos que deprime sus precios relativos, contribuyendo a una depreciación del tipo de cambio real. Este efecto se amplifica si la tasa de innovación es mayor en el exterior, es decir, si $\frac{\partial g_i^{*N}}{\partial g_i^N} > 0$.

Se esperan los siguientes resultados: i) una relación positiva entre el CLU y el TCR, validando la hipótesis de Shaikh (2016) de que la pérdida de competitividad genera depreciación cambiaria; ii) una relación inversa entre el crédito y el tipo de cambio, consistente con Edwards y Savastano (1999) y Clark y MacDonald (1998), donde un mayor crédito refleja una mayor profundización financiera y menor volatilidad en tasas de interés; iii) un efecto de apreciación inducido por los choques de innovación, en línea con Aghion y Howitt (2009), Grossman y Helpman (1991) y Romer (2002), que sugieren que la innovación altera la estructura de costos y precios relativos, mejorando la paridad cambiaria; iv) respecto a la apertura comercial y la inversión extranjera directa (IED), se espera que el aumento de exportaciones y flujos de IED provoque una apreciación del TCR, ya que la competitividad no precio³ mejora la eficiencia en los sectores comerciables.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA EMPÍRICA

La literatura empírica sobre los determinantes del tipo de cambio real es diversa y presenta interpretaciones variadas, especialmente en economías de América Latina y Asia. Estas discrepancias surgen debido a problemas metodológicos, conceptuales y de consistencia en la información utilizada en la operacionalización empírica. Factores como la agregación de los fundamentales del TCR, el desarrollo financiero y el desempeño competitivo de las economías analizadas condicionan los resultados obtenidos (Landa, 2023; Hsuan *et al.*, 2022; Informe Económico y Comercial, 2022; Salazar-Díaz *et al.*, 2022; Nkechukwu *et al.*, 2021; Boundi-Chraki y Perrotini-Hernández, 2021; Chávez, 2020; Alfaro *et al.*, 2018; Kakkar & Yan, 2014; Góchez & Tablas, 2013; Wong, 2012; Wong & Hock, 2011; Hossfeld, 2010).

Varios estudios han analizados el TCR en México. Por un lado, Landa (2023) analiza los determinantes del tipo de cambio a través del modelo de equilibrio de cartera, encontrando que diferenciales de actividad económica y tasas de interés inducen su apreciación, mientras que la inflación y activos externos netos privados generan depreciación.

Hsuan *et al.* (2022) analizan sobre la relación entre la volatilidad del TCR y la innovación tecnológica global en 32 mercados, utilizando un modelo GARCH para el período 1989-2018, se encontró que la inestabilidad del mercado cambiario, medida por la varianza del tipo de cambio, tiene una relación negativa con las tasas de innovación, especialmente en sistemas financieros menos desarrollados. El estudio también señala que la volatilidad cambiaria está asociada con mayores inversiones en derivados financieros en detrimento de la innovación tecnológica, lo que restringe el crecimiento empresarial y aumenta la inestabilidad.

El Informe Económico y Comercial (2022) destaca que la industria electrónica ha impulsado la apreciación del tipo de cambio real en Corea del Sur. Rosales (2021) señala que la industrialización exportadora y la educación fortalecieron la productividad y la estabilidad cambiaria. Asimismo, la inversión en semiconductores ha mejorado la competitividad.

Por su parte, Nkechukwu *et al.* (2021) analizaron los factores que influyen en el TCR de Nigeria entre 1960 y 1990, utilizando técnicas de cointegración. Sus hallazgos muestran que la innovación tecnológica tiene un impacto positivo y sostenido en la paridad cambiaria real, impulsando la productividad industrial. Además, identificaron que el fortalecimiento del capital humano y la diversificación exportadora juegan un papel clave en la estabilidad del TCR y el crecimiento económico.

3. La competencia no precio se refiere a la diferenciación basada en calidad, innovación o eficiencia, sin modificar precios, afectando la competitividad entre sectores comerciales y no comerciales no tradicionales.

En un estudio centrado en Colombia para el período 2000-2019, Salazar-Díaz *et al.* (2022) utilizaron un modelo VEC y concluyeron que entre 2004 y 2013 el TCR se apreció debido a mejores términos de intercambio, aumentos en la productividad, incrementos en el gasto público y una reducción del endeudamiento. Sin embargo, de 2014 a 2019, el TCR se depreció debido a un deterioro en los términos de intercambio comerciales, por una mayor deuda externa y debido al incremento en la entrada de activos foráneos.

Boundi-Chraki y Perrotini-Hernández (2021) analizaron la paridad cambiaria real y la competitividad en México, Canadá y Estados Unidos (1995-2014) con un panel dinámico. Encontraron una relación directa entre el TCR y los CLVI, evidenciando que las depreciaciones cambiarias afectan la competitividad. Asimismo, hallaron una relación inversa entre las tasas de interés y la paridad cambiaria real, respaldando la hipótesis de comercio basada en costos absolutos, aunque sujeta a la volatilidad del tipo de cambio.

Chávez (2020), mediante modelos con datos panel para 13 economías latinoamericanas entre 1980 y 2018, encontró resultados mixtos sobre los determinantes del TCR bajo los enfoques del equilibrio fundamental (FEER) y de comportamiento (BEER). Mientras que los términos de comercio, los precios de bienes comerciables y no comerciables, y los flujos de capital revelaron relaciones negativas y positivas con el TCR en el marco del FEER, las variables del BEER, como las diferencias en tasas de interés y el gasto gubernamental con relación al PIB, mostraron mayor impacto con apreciaciones de la paridad cambiaria.

Alfaro *et al.* (2018) analizaron los efectos de la innovación tecnológica y la profundización financiera sobre el TCR en economías emergentes de Asia (China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas y Tailandia), América Latina (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú) y Europa del Este (Hungría, Polonia y Rumania), usando un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) durante 2001-2010. Sus resultados indicaron que en Asia el TCR se relaciona positivamente con la inversión en I+D, mientras que en América Latina presenta una relación negativa, reflejando diferencias estructurales en las dinámicas financieras y productivas, lo que conlleva a fluctuaciones en el tipo de cambio real.

Por otro lado, Kakkar y Yan (2014) evaluaron los efectos de los choques tecnológicos, monetarios y financieros en el TCR de Estados Unidos frente a 15 economías de la OCDE durante 1970-2006 mediante técnicas de cointegración. Encontraron que las diferencias en productividad total de los factores explican las depreciaciones del TCR en 13 de 14 economías estudiadas. En casos como China y Australia, los resultados sugieren apreciaciones. Además, la tasa de interés real y el precio del oro estuvieron asociados con depreciaciones del TCR en las economías bajo estudio.

En el caso de Malasia, Wong (2012) estudió el impacto de los precios del petróleo y las reservas internacionales sobre el TCR entre 1971 y 2008. Su análisis concluye que incrementos en ambas variables generan apreciaciones en el mediano plazo, mientras que a corto plazo la tasa de interés real desempeña un papel crucial en la dinámica cambiaria.

Góchez y Tablas (2013) llevaron a cabo un análisis sobre la dinámica del tipo de cambio real en Guatemala, empleando el procedimiento de CLVI para el período 1970-2007. Los resultados obtenidos indicaron que un aumento del 1% en los costos laborales en Guatemala conlleva una depreciación del TCR de 0.896% frente al dólar estadounidense. Este hallazgo sugiere que el incremento de los costos laborales unitarios contribuye al deterioro de la competitividad de la economía guatemalteca en relación con Estados Unidos, lo que podría tener implicaciones adversas en términos de comercio exterior, atracción de inversiones y desempeño económico en un entorno global interdependiente.

De manera paralela, Wong y Hock (2011) analizaron la relación entre reservas internacionales, productividad y tipo de cambio real (TCR) en Japón, Corea del Sur y Hong Kong. En Japón, la brecha de

productividad impulsa la apreciación del TCR, mientras que las diferencias en reservas generan depreciación. En Corea del Sur, los términos de intercambio refuerzan la apreciación cambiaria. En Hong Kong, las reservas internacionales y la productividad tienen efectos diferenciados sobre el TCR, reflejando la influencia del régimen cambiario y la apertura comercial. Estos resultados sugieren que el impacto de las reservas y la productividad en el TCR depende de factores estructurales y de política económica propios de cada país.

Los estudios revisados muestran que la innovación, la estructura productiva, los costos laborales y el desarrollo financiero determinan el tipo de cambio real. Mientras la inversión en tecnología impulsa apreciaciones, los costos laborales y la volatilidad financiera pueden generar depreciaciones, reflejando dinámicas macroeconómicas diversas.

III. TIPO DE CAMBIO REAL, INNOVACIÓN Y DINÁMICA FINANCIERA. HECHOS ESTILIZADOS

En las últimas cinco décadas, México y Corea del Sur han seguido trayectorias distintas en su integración económica y desempeño macroeconómico. Ambos países son economías semi industrializadas, pero sus políticas de tipo de cambio real, estrategias de desarrollo industrial e inversión en tecnología e innovación reflejan enfoques divergentes que han influido en la estructura productiva y competitividad de cada nación. Este análisis compara las diferencias clave en variables macroeconómicas y estructurales, presentando de forma detallada los factores en cada economía (véase Cuadro 1).

Un factor clave es el crecimiento económico y el desarrollo de capital humano. Corea del Sur experimentó un crecimiento sostenido del PIB y un notable avance en productividad laboral, impulsado por políticas de inversión en educación y capacitación técnica, lo que fortaleció su competitividad en sectores de alta tecnología. México, en cambio, ha mostrado un crecimiento más volátil, con una estructura productiva dependiente de exportaciones de menor valor agregado. El desarrollo de capital humano en México ha sido más limitado, y la insuficiente inversión en innovación y tecnología ha restringido su competitividad global. Mientras Corea del Sur avanzó en capital humano y eficiencia productiva, México enfrentó un rezago que limitó su capacidad para competir en sectores industriales más dinámicos y de alta productividad.

Cuadro 1
Actividad macroeconómica, sistema financiero, sector externo y esfuerzo tecnológico

<i>Indicador</i>	<i>México</i>			<i>Corea del Sur</i>		
	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2010</i>	<i>2010-2020</i>	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2010</i>	<i>2010-2020</i>
PIB ¹	3.4	1.5	1.3	7.1	4.7	2.6
Patentes ³	8.6	17.1	22.9	336.5	1988	2392.4
Índice de capital Humano	0.3	0.4	0.4	2.0	2.6	4.1
Tipo de cambio real	12.9	2.9	4.3	4.8	0.2	0.1
CLU ^{1/8}	-1.9	0.7	2.6	2.5	-0.5	0.3
Remuneraciones Laborales ⁴	-0.5	-1.1	-1.4	-2.8	-2.8	-0.5
Inflación ^{1/9}	2.9	0.5	1.0	4.8	3.3	2.7
Productividad Laboral ¹	18.3	4.7	3.5	5.1	3.2	1.4
PTF ^{5/1}	3.4	1.6	2.5	7.8	6.3	3.9
Capitalización bursátil ²	-0.3	-1.1	0.0	1.4	1.9	0.5

<i>Indicador</i>	<i>México</i>			<i>Corea del Sur</i>		
	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2010</i>	<i>2010-2020</i>	<i>1990-2000</i>	<i>2000-2010</i>	<i>2010-2020</i>
Índice de valores ¹¹	21.8	35.8	34.0	60.0	88.7	111.8
Crédito Privado ^{1/10}	8.7	13.9	-2.5	10.6	12.1	22.6
Tasa de interés ¹²	30.6	24.1	18.3	55.1	116.0	137.6
Deuda Pública ²	25.1	26.3	35.7	41.0	110.2	137.4
Balanza Comercial ²	42.9	41.0	50.8	9.7	23.7	38.9
Balance Fiscal ²	-1.6	-1.7	-1.4	0.8	1.8	4.2
IED ^{1/6}	-0.6	-2.9	-2.9	1.8	1.7	1.0

1/ Tasa de crecimiento promedio anual. 2/ Indicador como porcentaje del PIB. 3/ Número de patentes triádicas. La información disponible en este indicador es para el periodo de 1985-2020. 4/ El indicador corresponde a la remuneración a asalariados media con datos de 1970-2019. 5/ Indicador de la productividad total de los factores. 6/ Indicador de la Inversión Extranjera Directa. 7/ Indicador del Producto Interno Bruto. 8/ Indicador del costo laboral unitario. 9/ Indicador de la inflación con el índice nacional de precios al consumidor. 10/ Este indicador esta desde 1980 a 2020 en México. 11/ El Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) de la Bolsa de Valores de México y el índice BBG-KOSPI de Corea del Sur abarcan el periodo 1980-2020. 12/ Indicador como promedio; los datos corresponden al periodo de 1978 a 2020.

Fuente: elaboración propia con datos del Penn World Table 10.0. International Financial Statistics, del fondo monetario internacional (FMI), Federal Reserve Economic Data (FRED), United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), United States Patent and Trademark Office (USPTO), del Structural Analysis Database and Science, Technology and Patents de la OCDE, (KOSTAT) Banco de Corea del Sur, oficina Nacional de Estadística de Corea del Sur (KOSIS), ministerio de hacienda y estrategia de la República de Corea del Sur.

El crecimiento económico y el desarrollo del capital humano son factores clave. Corea del Sur registró un crecimiento sostenido del PIB y un notable avance en productividad laboral, impulsado por políticas de inversión en educación y capacitación técnica, lo que fortaleció su competitividad en sectores de alta tecnología. México, en cambio, ha mostrado un crecimiento más volátil, con una estructura productiva dependiente de exportaciones de menor valor agregado. El desarrollo de capital humano en México ha sido más limitado, y la insuficiente inversión en innovación y tecnología ha restringido su competitividad global. Mientras Corea del Sur avanzó en capital humano y eficiencia productiva, México enfrentó un rezago que limitó su capacidad para competir en sectores industriales más dinámicos y de alta productividad (Márquez Ortiz *et al.*, 2020).

Las diferencias en el costo laboral unitario (CLU) reflejan cómo ambas economías gestionaron la relación entre salarios y productividad. En Corea del Sur, el aumento en las remuneraciones se mantuvo en consonancia con el crecimiento de la productividad laboral, lo que permitió conservar la estabilidad del tipo de cambio real sin comprometer la competitividad internacional. Este enfoque, basado en la mejora continua de las capacidades laborales, contrasta con el modelo mexicano, en el cual el CLU se utilizó como un mecanismo de ajuste para preservar la competitividad externa (CEPAL, 2018).

En el caso de México, la contención salarial y el estancamiento de los salarios reales contribuyeron al deterioro del poder adquisitivo y a la desaceleración de la demanda interna. Mientras Corea del Sur consolidó una economía con sectores altamente competitivos y un mercado interno dinámico, México experimentó una merma en el ingreso real de los trabajadores, lo que amplió su brecha estructural en términos de innovación y productividad (véanse Cuadro 2 y Cuadro 3).

Asimismo, las estrategias de control inflacionario y la gestión del tipo de cambio real desempeñaron un papel crucial en la trayectoria macroeconómica de ambos países. Corea del Sur mantuvo un régimen de tipo de cambio controlado en las primeras etapas de su industrialización y, posteriormente, adoptó un esquema flotante administrado que facilitó la estabilidad macroeconómica y el crecimiento sostenido. En contraste, México enfrentó episodios de devaluación recurrente y alta inflación, particularmente durante las décadas de 1980 y 1990. Las políticas restrictivas aplicadas en México para contener la inflación limitaron el crecimiento de la demanda agregada y afectaron tanto la estabilidad del tipo de cambio real como la competitividad estructural de su economía. En comparación, el enfoque gradual y estratégicamente coordinado adoptado por Corea del Sur favoreció una transición ordenada hacia un modelo económico más estable, con mayor control sobre los efectos de la inflación y del TCR.

Cuadro 2
Costos laborales, competitividad y comercio en México, 1990-2020

<i>Subsector</i>	<i>VA</i> ³	<i>FBK</i> ³	<i>PO</i> ²	<i>I+D</i> ¹	<i>C</i> ¹	<i>PL</i> ³	<i>RMA</i> ¹	<i>X</i> ¹	<i>IED</i> ¹	<i>CLU</i> ³
Alimentos	2.4	0.2	18.7	10.9	59.6	1.5	0.2	4.4	21.4	-1.2
Textil	-1.7	-4.9	15.5	3.5	6.1	0.0	-0.5	3.8	1.9	-0.5
Madera y papel	1.0	-1.0	6.4	2.0	3.1	2.1	0.2	0.9	2.1	-1.8
Química	0.3	0.4	4.7	20.9	0.3	0.8	-0.2	4.3	12.4	-1.0
Plástico	1.9	2.2	5.1	3.5	5.3	0.0	-0.1	2.4	4.6	0.0
Productos no metálicos	1.1	1.2	4.5	5.0	2.2	0.5	-2.1	1.3	2.5	-2.6
Metales básicos	0.6	5.8	1.6	4.7	5.8	-0.2	-1.4	1.3	5.5	-1.2
Productos metálicos	1.3	5.6	6.4	7.6	6.1	0.5	1.0	2.6	2.0	0.4
Cómputo y comunicación	1.8	6.2	3.9	4.1	2.6	0.2	-0.1	24.0	3.7	-0.2
Equipo electrónico	7.4	1.1	8.6	9.4	1.5	-1.9	0.4	10.8	8.2	2.3
Maquinaria y equipo	1.7	3.4	4.6	3.8	0.6	-0.4	0.4	7.1	4.4	0.7
Equipo de transporte	4.8	4.0	10.7	22.8	1.4	1.0	-0.6	30.7	28.4	-1.6
Otras manufacturas	1.4	2.3	8.9	1.0	4.9	0.6	1.5	5.3	2.8	0.9

VA (Valor Añadido Bruto); **FBKF** (Formación Bruta de Capital Fijo); **PO** (Número total de personas ocupadas); **I+D** (Gasto en Investigación y Desarrollo); **C** (Crédito) este indicador para Corea del Sur corresponde al periodo de 2003-2020 y para los servicios de 2009-2020 (su cálculo agrupa estadísticas del Banco de Corea de préstamos de corto y largo plazo); **PL** (Productividad Laboral); **X** (Exportaciones) corresponden al periodo de 2002 a 2020; **RMA** (Remuneraciones Medias a Asalariados); **IED** (Inversión Extranjera Directa); **CLU** (Costo Laboral Unitario). **1/** Participación en el total del sector; **2/** Participación en el total de personas ocupadas dentro de cada sector; **3/** Tasa de crecimiento promedio anual.

Nota: El gasto en investigación y desarrollo (I+D) corresponde al periodo de 1994-2019 en manufacturas y en servicios de 1998-2019; IED corresponde al periodo de 2000 a 2018.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, STAN (OCDE).

La inversión extranjera directa (IED) y la formación bruta de capital fijo (FBKF) muestran un contraste en la manera en que México y Corea del Sur canalizaron los recursos internacionales hacia el fortalecimiento de su estructura productiva. Corea del Sur logró atraer y canalizar la IED hacia sectores estratégicos, impulsando

la industrialización pesada y las industrias de alta tecnología, como la automotriz y la electrónica. Esta estrategia fue acompañada de un sistema financiero que facilitó la inversión a largo plazo, permitiendo un crecimiento sólido en el acervo de capital físico. Por su parte, México también atrajo inversión extranjera, especialmente en manufactura, pero con una concentración más marcada en sectores de ensamblaje y manufactura ligera de menor valor agregado (CEPAL, 2018). La FBKF en México mostró un crecimiento más modesto, lo que dificultó su capacidad de modernización y expansión de su infraestructura industrial. La diferencia en la estructura financiera entre ambos países resultó en un impacto significativo sobre el tipo de cambio real y la estabilidad de sus respectivas economías, favoreciendo a Corea del Sur en términos de solidez y diversificación industrial.

Cuadro 3
Costos laborales, competitividad y comercio en Corea del Sur, 1990-2020

<i>Subsector</i>	<i>VA</i> ³	<i>FBK</i> ³	<i>PO</i> ²	<i>I+D</i> ¹	<i>C</i> ¹	<i>PL</i> ³	<i>RMS</i> ¹	<i>X</i> ¹	<i>IED</i> ¹	<i>CLU</i> ³
Alimentos	4.6	2.5	9.6	1.4	7.5	3.7	3.4	1.1	-0.8	-0.5
Textil	4.8	0.6	15.6	0.8	5.7	4.3	4.5	4.6	1.5	-0.3
Madera y papel	3.3	3.3	5.7	0.3	1.0	3.1	3.2	0.7	0.3	0.0
Química	9.4	5.5	5.1	8.8	9.7	4.0	2.5	10.4	36.2	-1.5
Plástico	5.1	-	6.6	1.8	10.4	2.7	4.5	2.3	10.1	1.1
Productos no metálicos	3.2	3.7	3.9	0.7	4.3	3.1	3.4	0.5	0.0	-0.1
Metales básicos	13.5	4.0	4.3	1.6	10.6	5.3	4.0	6.8	4.1	-1.0
Productos metálicos	6.6	5.0	10.2	1.2	7.2	5.5	4.1	9.2	-26.4	-0.5
Cómputo y comunicación	20.3	10.9	6.0	57.5	5.4	3.0	1.2	26.9	-9.8	-2.0
Equipo electrónico	5.0	6.4	2.9	3.0	14.8	1.0	0.8	5.4	0.0	-1.2
Maquinaria y equipo	7.4	5.7	10.5	6.1	12.2	4.4	4.4	6.8	-20.7	-0.1
Equipo de transporte	11.0	7.1	12.4	15.0	7.9	3.4	2.8	18.0	38.3	-0.6
Otras manufacturas	2.1	3.5	6.8	1.0	0.6	4.5	5.1	1.0	26.7	0.2

VA (Valor Añadido Bruto); **FBKF** (Formación Bruta de Capital Fijo) en este indicador se utiliza el acervo neto de capital; **PO** (Número total de personas ocupadas); **I+D** (Gasto en Investigación y Desarrollo); **C** (Crédito) este indicador para Corea del Sur corresponde al periodo de 2003-2020 y para los servicios de 2009-2020 (su cálculo agrupa estadísticas del Banco de Corea de préstamos de corto y largo plazo; **PL** (Productividad Laboral); **RMA** (Remuneraciones Medias a Asalariados) en el subsector de servicios profesionales los datos corresponden a 2003-2018 y el resto de la información es de 1992-2018; **X** (Exportaciones); **IED** (Inversión Extranjera Directa); **CLU** (Costo Laboral Unitario). **1/** Participación en el total del sector; **2/** Participación en el total de personas ocupadas en el subsector; **3/** Tasa de crecimiento promedio anual.

Nota: El gasto en investigación y desarrollo (I+D) corresponde al periodo de 1994-2019 en manufacturas y en servicios de 1998-2019; IED corresponde al periodo de 2000 a 2018.

Fuente: elaboración propia con datos del STAN (OCDE), Asociación de Comercio Internacional de la República de Corea (KITA) [<http://www.kita.net>],del Banco de la República de Corea, “Economic Statistics System (ECOS)” [en línea] <http://ecos.bok.or.kr>

Un factor clave para la estabilidad del tipo de cambio real a largo plazo ha sido el esfuerzo en innovación tecnológica y la inversión en investigación y desarrollo (I+D). Corea del Sur ha logrado avances significativos en estos campos mediante políticas activas y colaboraciones entre el gobierno y el sector privado, lo que resultó

en altas tasas de producción de patentes y un crecimiento en industrias clave (Kim & Lee, 2021). Desde los años setenta, la economía coreana implementó programas para fortalecer su infraestructura educativa y de investigación, impulsando sectores como la tecnología de la información y la industria automotriz. En contraste, México ha mostrado avances limitados en I+D, y su inversión en tecnología ha sido insuficiente para potenciar su capacidad innovadora. La falta de un enfoque coordinado en el desarrollo de capacidades tecnológicas ha debilitado la competitividad de la economía mexicana en el mercado internacional.

El análisis de estos hechos estilizados revela cómo los enfoques divergentes en políticas macroeconómicas, industriales y tecnológicas han configurado trayectorias económicas distintas. La economía coreana ha consolidado una base competitiva mediante la inversión en capital humano, la modernización tecnológica y la estabilidad cambiaria. Por su parte, México, pese a sus esfuerzos de liberalización y apertura comercial, ha enfrentado mayores desafíos para mantener su competitividad industrial. Los costos laborales y la deflación salarial en México han impedido un crecimiento sostenido y afectado la demanda interna. En contraste, Corea del Sur ha aumentado su capacidad exportadora y mantenido un tipo de cambio real estable, lo que ha favorecido la expansión de su base industrial y tecnológica. En general, la experiencia de ambos países muestra que una política económica basada en estabilidad financiera, innovación y desarrollo del capital humano puede conducir a un crecimiento económico más inclusivo y sostenible, a diferencia de un modelo centrado en ajustes de costos laborales y liberalización comercial sin una estrategia industrial sólida.

IV. OPERACIONALIZACIÓN EMPÍRICA

Aspectos metodológicos

Analíticamente, la operacionalización de hipótesis se realiza con base en un modelo panel dinámico, estimado mediante el método de Medias Agrupada (PMG)⁴. Así, la especificación estocástica de la ecuación (6) viene definida por:

$$\Delta \ln \varepsilon_{it} = \Gamma_i \ln \tau_{it-1} + \beta' r_{it} + \sum_{j=1}^{q-1} \phi_j * \Delta \ln \tau_{it} - j + \sum_{j=1}^{q+1} \theta_j' * \Delta \tau_{it} - j + \eta_{it} + v_{it} \quad (7)$$

Donde ε y τ constituyen, respectivamente, el TCR y un vector de $k \times 1$ variables explicativas (CLU , costo laboral unitario; cf , crédito financiero; $i - i^*$ las brechas de tasas de interés y de los precios $p - p^*$; act_fin , la actividad financiera; tam_fin , el tamaño financiero; $efec_fin$, la eficiencia financiera; K , acervos de capital tecnológico NX , apertura comercial; $aied$, acervos de inversión extranjera directa); el parámetro Γ_i captura la velocidad de ajuste del desequilibrio; mientras que β' agrupa los parámetros de largo plazo y los vectores ϕ_{ij} y θ' los estimadores de corto plazo; en tanto que η_{it} y v_{it} capturan los efectos fijos y el término de error, correspondientemente. Los subíndices i y t indican, a correspondencia, la unidad de corte transversal y el periodo.

En este estudio, se espera que el coeficiente asociado con las variaciones en el costo laboral unitario (clu) sea negativo, lo que sería consistente con la hipótesis de que una disminución en los costos de eficiencia, derivados de variaciones en productividad y en las remuneraciones laborales, fomenta apreciaciones del TCR

4. A diferencia del método de momentos generalizados (GMM), cuyo desempeño se ve comprometido en muestras con un número reducido de unidades transversales (N) y un horizonte temporal amplio (T), el estimador PMG evita los sesgos derivados del incremento desproporcionado en el número de instrumentos. En particular, a medida que crece la cantidad de variables endógenas y la dimensión temporal se amplía, GMM tiende a generar una sobre identificación del modelo, lo que impone una carga excesiva en la estimación y compromete la solidez de la matriz de varianza-covarianza, reduciendo así la confiabilidad de los resultados.

(Shaikh, 2016, p. 123). Asimismo, de nuestros resultados proyectamos que, ante una mayor profundización financiera, a través de incrementos en el crédito financiero (cf), en las brechas de tasas de interés ($i - i^*$), en los precios ($p - p^*$), en la actividad financiera (act_fin), en el tamaño financiero (tam_fin) y en la eficiencia financiera ($efec_fin$) impactan de forma inversa en la dinámica de la paridad cambiaria real (Edwards y Savastano, 1999, p. 45; Clark y MacDonald, 1998, p. 112). De acuerdo con las de los planteamientos de la teoría endógena, se espera una relación negativa entre los acervos de inversión extranjera directa ($aied$) y los de capital tecnológico (K) respecto al tipo de cambio real (Aghion y Howitt, 2009, p. 123; Grossman y Helpman, 1991, p. 45).

El estimador PMG presenta una ventaja significativa frente a otras metodologías aplicadas en modelos de panel dinámico, al permitir la incorporación de la heterogeneidad específica de cada subsector económico. Esto posibilita que los parámetros de corto plazo, la varianza de los errores y la velocidad de ajuste sean heterogéneos entre los distintos grupos, mientras que los coeficientes de pendiente de largo plazo se asumen homogéneos a través de las unidades de observación transversal. Adicionalmente, el estimador garantiza la obtención de parámetros eficientes y consistentes incluso en muestras reducidas, al corregir problemas de autorrelación y heterocedasticidad (véase Blackburne y Frank, 2007; Pesaran *et al.*, 1999; Blundell *et al.*, 1998).

Análisis e interpretación de resultados

Para el contraste de hipótesis se recogen datos anuales de 14 sectores de México y Corea del Sur sobre valor agregado, horas trabajadas, compensación laboral, índice de precios del consumidor, deflactor del valor agregado, tipo de cambio nominal, gasto en investigación y desarrollo, inversión extranjera directa, crédito privado, tasa de interés a 91 días, exportaciones e importaciones de bienes y servicios durante el periodo 1990-2020. La información es obtenida de los repositorios estadísticos del Structural Analysis Database (OCDE); Sistema de cuentas nacionales de México (INEGI); Banco de México (Banxico); Penn World Table 10.0; International Financial Statistics, del Fondo Monetario Internacional (FMI), Federal Reserve Economic Data (FRED), Banco de Corea del Sur (KOSTAT), Oficina Nacional de Estadística de Corea del Sur (KOSIS); Ministerio de hacienda y estrategia de la República de Corea del Sur.

La operacionalización empírica se basa en pruebas de raíz unitaria para analizar la estacionariedad de las variables, utilizando los enfoques de Im, Pesaran y Shin (2003), así como los métodos de Fisher y Choi (2003). Los resultados indican que las series son estacionarias tanto en niveles $I(0)$ como en primeras diferencias $I(1)$. Asimismo, el test de cointegración de Pedroni (2001) confirma la existencia de relaciones de largo plazo en cada especificación, y la selección óptima de rezagos se realizó con base en los criterios de información de Akaike y Bayesiano (véase Anexo para pruebas de robustez estadística y econométrica).

Los hallazgos indican que un aumento del costo laboral unitario (CLU) en México está asociado con la depreciación del tipo de cambio real (TCR), lo que implica que el incremento en salarios no mejora la competitividad, sino que la deteriora (Alfaro *et al.*, 2018; Alfaro *et al.*, 2022; Boundi-Chraki y Perrotini-Hernández, 2021). La inversión en capital tecnológico genera una apreciación de la moneda, aunque su impacto es limitado por la baja innovación en la estructura productiva (Castañeda, 2023; Rosales, 2022).

La apertura comercial ha tenido efectos negativos en el TCR debido a la dependencia de insumos importados y la escasa integración productiva local (Informe Económico y Comercial, 2022; Landa, 2023). En cuanto al desarrollo financiero, aunque el crédito y la inversión extranjera directa (IED) influyen en la estabilidad del TCR, su impacto positivo es limitado por la falta de financiamiento productivo (Salazar-Díaz *et al.*, 2022; Chávez, 2020).

Para fortalecer la competitividad industrial mexicana, se requieren políticas enfocadas en la innovación, integración productiva y reforma del sistema financiero (Góchez y Tablas, 2013; Hsuan *et al.*, 2022) (Véase Cuadro 4).

Cuadro 4
México: relación dinámica entre el tipo de cambio real, la innovación y el sistema financiero

<i>Indicador</i>	<i>Medias agrupadas</i>			
	<i>Modelo 1</i>	<i>Modelo 2</i>	<i>Modelo 3</i>	<i>Modelo 4</i>
<i>Constante</i>	-0.864 (0.000)*	-1.994 (0.000)*	-1.540 (0.000)*	-2.375 (0.001)*
<i>lnε_{mex/usa}</i>	2.616 (0.002)*	1.070 (0.248)	1.409 (0.119)	0.828 (0.014)*
<i>lnakt</i>	-0.022 (0.716)	-0.120 (0.214)	-0.099 (0.250)	-0.023 (0.500)
<i>lnxmva</i>	0.515 (0.000)*	0.945 (0.000)*	0.786 (0.000)*	-0.042 (0.389)
<i>lnaied</i>	0.024 (0.863)	0.555 (0.000)*	0.461 (0.000)*	0.271 (0.000)*
<i>lncred</i>	0.247 (0.005)	0.341 (0.000)*	0.212 (0.009)*	0.257 (0.018)*
<i>α</i>	-0.230 (0.000)*	-0.175 (0.000)*	-0.205 (0.000)*	-0.352 (0.001)*
<i>Efectos macroeconómicos en el análisis multisectorial</i>				
<i>lnact_fin</i>	-0.589 (0.001)*	-	-	-
<i>lnam_fin</i>	-	-	-1.244 (0.000)*	-
<i>lnefic_fin</i>	-	-0.255 (0.000)*	-	-
<i>ln(i - i*)</i>	-0.309 (0.018)*	-0.210 (0.059)**	-0.040 (0.563)	0.002 (0.918)
<i>ln(p - p*)</i>	-	-	-	1.350 (0.000)*

(*) Significancia al 5% y (**) significancia al 10%.

Estimaciones basadas en el enfoque *Mean Group* para panel.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, del STAN (OCDE), Structural analysis database (OCDE); Sistema de cuentas nacionales de México (INEGI); Banco de México (Banxico).

El análisis de las manufacturas en Corea del Sur muestra que los factores financieros, comerciales y productivos han sido determinantes en la evolución del tipo de cambio real (TCR) y en la competitividad del sector. A diferencia de México, Corea del Sur ha logrado una correlación positiva entre la actividad exportadora y la apreciación del TCR, debido a una estrategia centrada en la innovación y diferenciación de productos. Este modelo ha permitido que la competitividad surcoreana no dependa de costos laborales bajos, sino del desarrollo tecnológico y la sofisticación industrial (Hsuan *et al.*, 2022; Alfaro *et al.*, 2022). Wong (2012) y Wong & Hock (2011) destacan que la capacidad del país para generar valor agregado a través de la innovación ha sido clave en la estabilidad de su moneda y en el fortalecimiento de su industria manufacturera.

El sistema financiero surcoreano ha jugado un papel fundamental en la estabilidad del TCR. La eficiencia del sector bancario y el desarrollo del mercado de valores han facilitado la inversión en sectores estratégicos, promoviendo el crecimiento industrial sin generar distorsiones cambiarias (Salazar-Díaz *et al.*, 2022; Informe Económico y Comercial, 2022). Landa (2023) señala que la estructura de conglomerados industriales (chaebols) ha permitido una rotación de capital eficiente entre sectores productivos, asegurando un financiamiento constante para la industria manufacturera.

Además, Corea del Sur ha implementado políticas monetarias autónomas y flexibles que han permitido mantener la estabilidad del TCR. A través de ajustes en la tasa de interés, el país ha logrado atraer inversión sin generar presiones inflacionarias ni depreciaciones abruptas en su moneda (Kakkar & Yan, 2014; Hossfeld, 2010). Este control monetario, junto con una baja variabilidad en los costos laborales, ha permitido que la inflación tenga un impacto moderado sobre el TCR, favoreciendo la competitividad exportadora (Rosales, 2022). (Véase Cuadro 5).

Cuadro 5
Corea del Sur: relación dinámica entre el tipo de cambio real, la innovación y el sistema financiero

<i>Indicador</i>	<i>Medias agrupadas</i>			
	<i>Modelo 1</i>	<i>Modelo 2</i>	<i>Modelo 3</i>	<i>Modelo 4</i>
<i>Constante</i>	9.186 (0.00)*	-8.578 (0.011)*	13.129 (0.094)	5.354 (0.007)*
<i>ln$\epsilon_{mex/usa}$</i>	-0.102 (0.428)	-0.681 (0.360)	7.150 (0.172)	0.210 (0.159)
<i>lnakt</i>	-0.167 (0.012)	-0.179 (0.040)	2.551 (0.143)	-0.262 (0.003)*
<i>lnxmva</i>	-0.114 (0.124)	-0.262 (0.010)*	-3.747 (0.105)	-1.203 (0.000)*
<i>lnaied</i>	0.148 (0.104)	0.209 (0.060)*	-4.426 (0.098)	0.712 (0.021)*
<i>lncred</i>	-0.724 (0.000)*	-0.681 (0.000)*	-0.130 (0.090)**	-0.452 (0.006)*
α	9.186 (0.00)*	-8.578 (0.011)*	13.129 (0.094)	5.354 (0.007)*
<i>Efectos macroeconómicos en el análisis multisectorial</i>				
<i>lnact_fin</i>	-0.196 (0.000)*	-	-	-
<i>lnam_fin</i>	-	-	-2.034 (0.222)*	-
<i>lnfic_fin</i>	-	-0.120 (0.002)*	-	-
<i>ln($i-i^*$)</i>	-0.018 (0.134)	-0.007 (0.673)	0.214 (0.281)	-0.01 (0.556)
<i>ln($p-p^*$)</i>	-	-	-	1.884 (0.000)*

(*) Significancia al 5% y (**) significancia al 10%.

Estimaciones basadas en el enfoque *Mean Group* para panel.

Fuente: elaboración propia con datos del STAN (OCDE), Structural analysis database (OCDE); International Financial Statistics, del fondo monetario internacional (FMI), Federal Reserve Economic Data (FRED), (KOSTAT) Banco de Corea del Sur, oficina Nacional de Estadística de Corea del Sur (KOSIS); Ministerio de hacienda y estrategia de la República de Corea del Sur.

CONCLUSIONES

En esta investigación se estimaron los determinantes del tipo de cambio real (TCR) para México y Corea del Sur durante el periodo 1990-2020, utilizando un modelo híbrido basado en la teoría de los CLVI de Shaikh (2016), que incorpora la profundización financiera y los choques de productividad por innovación.

La literatura señala que la economía mexicana ha experimentado un estancamiento desde los años ochenta, debido a choques externos, vulnerabilidades comerciales y fluctuaciones estructurales, además de la falta de regulaciones o controles de capital. Los determinantes del TCR en México están vinculados al comercio internacional, el sistema financiero y el mercado monetario. El CLU muestra una relación divergente con el TCR, reflejando los efectos de la deflación salarial. Esto se atribuye a un sistema financiero subdesarrollado, a baja inversión en capital físico y tecnológico, y a una estructura productiva heterogénea entre los sectores comerciables y no comerciables, lo que genera inestabilidad cambiaria.

En Corea del Sur, el TCR ha experimentado ajustes relacionados con su evolución económica, financiera e industrial. Desde mediados de los años ochenta, Corea ha adoptado políticas dirigidas por el Estado para fortalecer el sector industrial y profundizar el sistema financiero. Estas políticas han sido cruciales para sostener el crecimiento económico, diversificar la estructura productiva y mantener la estabilidad cambiaria, lo que ha fortalecido la competitividad del país en el mercado global.

En ambos países, los determinantes del TCR incluyen la intervención estatal en la deuda pública y el balance fiscal, junto con el comportamiento financiero y la innovación tecnológica. Estos factores influyen en la paridad cambiaria y la competitividad industrial, promoviendo eficiencia productiva y afectando costos y precios a largo plazo.

Las estimaciones muestran tendencias diferenciadas entre México y Corea del Sur, aunque sus comportamientos son análogos. En México, el TCR es significativo en todos los fundamentales analizados, excepto en el crédito, la inversión extranjera directa (IED) y los flujos comerciales. En Corea del Sur, la paridad cambiaria es consistente con los determinantes propuestos, salvo en el crédito. En ambos países, los estimadores de actividad y volumen financiero en manufacturas no son significativos. La estabilidad cambiaria depende del CLVI, el capital tecnológico y la profundización financiera. México presenta sectores manufactureros más divergentes debido al modelo de deflación salarial, mientras que Corea del Sur se beneficia de mayores incentivos financieros que favorecen la innovación y estabilizan su TCR.

Este estudio muestra que los desajustes en el TCR de México pueden afectar negativamente la competitividad industrial y la capacidad de innovación. Para abordar estos desafíos, se proponen políticas que fortalezcan la economía mexicana. En el ámbito fiscal, se recomienda incentivar la inversión en tecnología local mediante impuestos y subsidios, y fomentar la colaboración entre empresas locales y extranjeras para fortalecer las cadenas de suministro. En el área tecnológica, el cofinanciamiento de proyectos y la extensión de recursos tecnológicos a la industria privada son fundamentales. En términos cambiarios, se sugiere que el banco central utilice instrumentos como *forwards* y *swaps* para reducir la volatilidad del TCR. Finalmente, una política económica que integre la banca de desarrollo podría aliviar la presión sobre el tipo de cambio. Estas estrategias están inspiradas en las experiencias de Corea del Sur, que ha logrado una mayor resiliencia económica.

REFERENCIAS

- Acemoglu, D. (2009). *Introduction to modern economic growth*. Princeton University Press.
- Aghion, P. y Howitt, P. (2009). *The economics of growth*. MIT Press.
- Aghion, P., Bacchetta, P., Rancière, R. & Rogoff, K. (2006). Exchange rate volatility and productivity growth: The role of financial development. *NBER Working Paper* No. 12117. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w12117>
- Alexius, A. (2005). Productivity shocks and real exchange rates. *Journal of Monetary Economics*, 52(3), 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2004.07.001>
- Alfaro, L., Cuñat, A., Fadinger, H. y Liu, Y. (2018). The real exchange rate, innovation and productivity: Heterogeneity, asymmetries and hysteresis. *NBER Working Paper* No. 24633. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w24633>
- Alfaro, L., Cuñat, A., Fadinger, H. y Liu, Y. (2022). Innovation, finance, and exchange rates: Evidence from emerging markets. *The World Economy*, 45(9), 2785–2810.
- Balassa, B. (1964). The purchasing-power parity doctrine: A reappraisal. *The Journal of Political Economy*, 72(6), 584–596. <https://doi.org/10.1086/258965>
- Banco de México. (2025). *Indicadores económicos y financieros*. <https://www.banxico.org.mx>
- Bank of Korea (KOSTAT). (2021). *Economic Statistics System (ECOS)*. <https://ecos.bok.or.kr>
- Begum, J. (2000). Real exchange rates and productivity: Closed-form solutions and some empirical evidence. *IMF Working Paper* No. WP/00/99. International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9781451852264.001>
- Blackburne, E. F. y Frank, M. W. (2007). Estimation of nonstationary heterogeneous panels. *The Stata Journal*, 7(2), 197–208. <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700204>
- Blundell, R. y Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115–143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Boundi-Chraki, F. y Perrotini-Hernández, I. (2021). Absolute cost advantage and sectoral competitiveness: Empirical evidence from NAFTA and the European Union. *Structural Change and Economic Dynamics*, 59, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2021.08.020>
- Castañeda, A. (2023). Financiamiento y competitividad industrial en México: Un enfoque de tipo de cambio real. *Estudios Económicos*, 39(1), 55–89.
- Chávez, C. (2020). Determinants of real exchange rate: A behavioural and fundamental dynamic analysis in Latin American countries. *Journal of Developing Economies*, 5(1), 68–83. <https://doi.org/10.20473/jde.v5i1.18814>
- Clark, P. B. y MacDonald, R. (1998). Exchange rates and economic fundamentals: A methodological comparison of BEERs and FEERs. *IMF Working Paper* No. 98/67. International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9781451961683.001>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *La ineficiencia de la desigualdad* (LC/SES.37/3-P). CEPAL. <https://doi.org/10.18356/ff8b886e-es>
- Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1990). *The economics of technical change and international trade*. Harvester Wheatsheaf.
- Edwards, S. y Savastano, M. A. (1999). Exchange rates in emerging economies: What do we know? What do we need to know? *NBER Working Paper* No. 7228. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w7228>
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2021). *Federal Reserve Economic Data (FRED)*. <https://fred.stlouisfed.org>

- Fisher, R. A. y Choi, I. (2003). Panel unit root tests of exchange rate series. *Econometric Reviews*, 22(3), 311–336. <https://doi.org/10.1081/ETC-120022872>
- Frankel, J. A. (1984). On the mark: A theory of floating exchange rates based on real interest differentials. *American Economic Review*, 74(4), 610–622.
- Góchez, C. y Tablas, J. (2013). Determinantes del tipo de cambio real en Guatemala: Un enfoque basado en costos laborales unitarios. *Revista de Economía del Banco de Guatemala*, 31(1), 45–78.
- Grossman, G. M. y Helpman, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. MIT Press.
- Hinkle, L. E. & Montiel, P. J. (1999). *Exchange rate misalignment: Concepts and measurement for developing countries*. Oxford University Press for the World Bank.
- Hossfeld, O. (2010). The role of financial factors for the real exchange rate dynamics. *Economic Modelling*, 27(6), 1390–1400.
- Hoffmann, M. y MacDonald, R. (2009). Real exchange rates and real interest rate differentials: A present value interpretation. *European Economic Review*, 53(8), 952–970. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2009.04.013>
- Hsuan, Y. H., Lee, S. Y. y Kim, T. (2022). Technological innovation and exchange rate volatility: Evidence from global markets. *Journal of International Money and Finance*, 121, 102–137. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2021.102137>
- INEGI. (2025). *Sistema de Cuentas Nacionales de México (SCNM)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx>
- International Monetary Fund (IMF). (2021). *International Financial Statistics (IFS)*. <https://data.imf.org>
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). (2021). *National Statistics Portal of South Korea*.
- Kakkar, V. y Yan, I. (2014). Determinants of real exchange rates: An empirical investigation. *BOFIT Discussion Paper No. 1/2014*. Bank of Finland, Institute for Economies in Transition. <https://hdl.handle.net/10419/212787>
- Kim, Y.-J. y Lee, S.-H. (2021). The relationships among quality of online education, learning satisfaction, and achievement in practical cooking classes during COVID-19. *Sustainability*, 13(21), 12152. <https://doi.org/10.3390/su132112152>
- Krugman, P. R. (1979). Increasing returns, monopolistic competition, and international trade. *Journal of International Economics*, 9(4), 469–479. [https://doi.org/10.1016/0022-1996\(79\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0022-1996(79)90017-5)
- Landa, H. O. (2023). Modelo de equilibrio de cartera y su impacto en el tipo de cambio en México. *Estudios Económicos*, 38(2), 112–135.
- Lee, K. (2021). *The art of economic catch-up: Barriers, detours and leapfrogging in innovation systems*. Cambridge University Press.
- Márquez, F., Ramírez, L. y Pérez, J. (2020). Competitividad industrial y productividad en América Latina y Asia: un análisis comparativo. *Revista de Análisis Económico*, 35(2), 77–102.
- Martínez, F. A. (2010). An alternative theory of real exchange rate determination: Theory and empirical evidence for the Mexican economy, 1970–2004. *Investigación Económica*, 69(273), 55–84. <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2010.273.24249>
- Ministry of Economy and Finance, Republic of Korea. (2021). *Annual Economic Report*. <https://www.moef.go.kr>
- Miyamoto, W., Nguyen, T. L. y Sheremirov, V. (2019). The effects of government spending on real exchange rates: Evidence from military spending panel data. *Journal of International Economics*, 116, 144–157. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2018.11.009>

- Nkechukwu, U., Obi, P. y Adebayo, T. (2021). Innovation, exchange rate and growth nexus: Evidence from Nigeria. *African Economic Review*, 33(2), 55–74.
- Oficina Económica y Comercial de España en Seúl. (2022). *Informe económico y comercial de Corea del Sur 2022*. ICEX España Exportación e Inversiones. <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/documentos/quienes-somos/donde-estamos/red-exterior/corea-del-sur/DOC2022912417.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). *Structural Analysis (STAN) and Science, Technology and Patents Database*. <https://stats.oecd.org>
- Rodrik, D. (2008). The real exchange rate and economic growth. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2, 365–412.
- Romer, D. (2002). *Advanced macroeconomics* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Rosales, J. (2021). Industrialización y productividad en economías exportadoras de Asia Oriental. *Revista de Economía Mundial*, 58, 101–127.
- Rosales, J. (2022). Innovación tecnológica y estabilidad cambiaria: Lecciones de Asia para América Latina. *Revista CEPAL*, 137, 145–168.
- Ros, J. y Lustig, N. (2000). *Economic growth and the role of the exchange rate regime in Latin America*. Brookings Institution.
- Salazar-Díaz, A., Garavito-Acosta, A. L., Restrepo-Ángel, S. y Arcila-Agudelo, L. V. (2022). Real equilibrium exchange rate in Colombia: Thousands of VEC models approach. *Borradores de Economía* No. 1221. Banco de la República de Colombia. <https://doi.org/10.32468/be.1221>
- Samuelson, P. A. (1964). Theoretical notes on trade problems. *The Review of Economics and Statistics*, 46(2), 145–154. <https://doi.org/10.2307/1928178>
- Shaikh, A. (1980). Laws of production and laws of algebra: The Humbug production function. *Review of Economics and Statistics*, 62(3), 472–481.
- Shaikh, A. (2016). *Capitalism: Competition, conflict, crises*. Oxford University Press.
- Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 727–731. <https://doi.org/10.1162/003465301753237803>
- Penn World Table. (2021). *Version 10.0*. Groningen Growth and Development Centre. <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt>
- Pesaran, M. H., Shin, Y. y Smith, R. P. (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>
- Thirlwall, A. P. (2011). Balance of payments constrained growth models: History and overview. *PSL Quarterly Review*, 64(259), 307–351. <https://doi.org/10.13133/2037-3643/988>
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2021). *UNCTADstat Database*. <https://unctadstat.unctad.org>
- United States Patent and Trademark Office (USPTO). (2021). *Patent Technology Monitoring Team Data*. <https://www.uspto.gov>
- Wong, H. T. y Hock, K. S. (2011). Real exchange rate, productivity, and reserves in East Asia: A comparative study. *Asian Economic Journal*, 25(4), 321–343. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8381.2011.02066.x>
- Wong, H. T. (2012). The real exchange rate Malaysia. *Labuan Bulletin of International Business & Finance*, 10, 7–27.

Is the brazilian exchange rate related to country risk? An uncovered interest parity approach

¿Está vinculado el tipo de cambio brasileño con el riesgo país? Un estudio basado en la paridad descubierta de las tasas de interés

Alan Coaglio Silva Menezes*, Mathias Schneid Tessmann**
y Luiz Augusto Ferreira Magalhães***

*Brazilian Institute of Education, Development and Research.
Correo electrónico: alancoaglio@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8562-261X>

**Brazilian Institute of Education, Development and Research.
Correo electrónico: mathias.tessmann@idp.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9320-0340>

***Brazilian Institute of Education, Development and Research.
Correo electrónico: luiz.magalhaes@idp.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4393-305X>

ABSTRACT

This paper analyzes the behavior of the nominal exchange rate between the Brazilian Real and the US Dollar by adapting the theoretical approach of uncovered interest parity to verify whether country risk influences exchange rate changes. For this purpose, ordinary least squares and vector autoregressive models are estimated considering data from 2012 to 2022. Impulse-response functions and variance flexibility were complementary methods to analyze the interaction between the variables. The results suggest that the nominal exchange rate in the period was influenced by its lags and by the country risk, represented by the EMBI+, and the CDS as in the robustness test, being fundamentally affected by the influence of retrospective and prospective expectations. The difference between domestic and foreign interest rates did not prove to be effective in influencing the behavior of the exchange rate. These findings are useful for the scientific literature investigating exchange rate movements in emerging markets by providing empirical evidence for the Brazilian real and policymakers and financial market agents.

RESUMEN

Este artículo analiza el comportamiento del tipo de cambio nominal entre el real brasileño y el dólar estadounidense adaptando el enfoque teórico de la paridad descubierta de intereses para verificar si el riesgo país influye en las variaciones del tipo de cambio. Para ello, se estiman modelos de mínimos cuadrados ordinarios y autorregresivos vectoriales considerando datos de 2012 a 2022. Las funciones de respuesta al impulso y la flexibilidad de la varianza fueron métodos complementarios para analizar la interacción entre las variables. Los resultados sugieren que el tipo de cambio nominal en el período se vio influido por sus retrasos y por el riesgo país, representado por el EMBI+ y el CDS, como en la prueba de robustez, viéndose afectado fundamentalmente por la influencia de las expectativas retrospectivas y prospectivas. La diferencia entre las tasas de interés nacionales y extranjeras no resultó ser eficaz para influir en el comportamiento del tipo de cambio. Estos hallazgos son útiles para la literatura científica que investiga los movimientos del tipo de cambio en los mercados emergentes, ya que proporcionan evidencia empírica para el real brasileño y los responsables de la política económica y los agentes del mercado financiero.

Received: February/24/2025

Accepted: June/04/2025

Posted: January/12/2026

Keywords:

| Nominal exchange rate |
| Interest rate | Risk |
| Uncovered Interest Parity |
| EMBI+ |

Palabras clave:

| Tipo de cambio nominal |
| Tipo de interés | Riesgo |
| Paridad de intereses sin
cobertura | EMBI+ |

Clasificación JEL | JEL Classification |

C32, E44, F31



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

INTRODUCTION

As one of the most important macroeconomic prices in open economies and considering the structural transformations of the economy and the respective financial innovations since the 1970s, there is a vast literature on the factors that influence exchange rate movements. Among these works, those that investigate the determinants of the real equilibrium exchange rate and its implications for the economic structure of national economies, especially in developing economies, stand out. Also abundant in the scientific literature are studies that use financial approaches to explore the relationships between nominal exchange rates and interest rates, along with the respective possibilities for arbitrage and derivative strategies.

The variation in the exchange rate represents the fluctuation in the price of domestic currency measured against foreign currency, indicating the change in the structure of relative prices, which impacts sectoral and socioeconomic class gains. Particularly in developing economies, exchange rate volatility significantly affects economic stability, both through the inflationary transmission mechanism (passthrough) during periods of strong depreciation and in situations of excessive currency appreciation, which have various repercussions on real wages, business costs, export competitiveness, and more. Excessive volatility harms the business environment, compromising predictability and fostering a greater perception of risks, both at the macro and microeconomic levels (Rossi, 2016).

The price-specie flow model, developed by David Hume, was the most influential theoretical exposition of the prevailing mechanism in the International Monetary System known as the Gold Standard. Like any effective model, it adopts some simplifying assumptions, such as the absence of the role of banks and the conception of a market where only gold coins circulated. Thus, when a country incurred a trade deficit, it would automatically suffer a loss of gold and consequently experience a drop in prices. The opposite would occur in the surplus country, and the movement in relative prices would eliminate the trade imbalance (Eichengreen, 2000).

At the end of the First World War, maintaining the fixed parity of respective currencies with gold encountered a trade-off by addressing various domestic issues, such as unemployment. From this perspective, the theoretical analysis of PPP (Purchasing Power Parity) was developed by Cassel (1918) and served as a theoretical reference for the institutional design of Bretton Woods. According to Cassel (1918), in the interwar period, there were significant divergences in inflation rates among different countries, and consequently, the equilibrium exchange rates between them should converge to the level that equalizes the prices of domestic goods with the prices of goods in foreign countries. Therefore, the equilibrium exchange rate of a given country is defined by the ratio between domestic price levels and international price levels (Rossi, 2016).

From the 1960s onwards, theoretical developments concerning exchange rate issues were particularly fruitful, as they generally sought to address the urgency brought about by the exhaustion of the Bretton Woods system, the resulting flexibilization of financial regulations, the increase in capital flows, and financial innovations. The model by Mundell (1960) and Fleming (1962), known as the Mundell-Fleming model, is one of these prominent theoretical advances and has significant implications for economic policies, such as the effectiveness of fiscal and monetary policies under fixed and flexible exchange rate regimes.

In the development of open economy models, interest rates and exchange rates play a fundamental role. Various approaches in macroeconomics and international finance work with the links and relationships between these variables. Among these, the Uncovered Interest Rate Parity stands out, which adopts the hypothesis of rational expectations as its fundamental assumption (Kalemli-Özcan and Varela, 2021).

For the analysis of exchange rate behavior in emerging countries, adaptations necessarily need to be made. Generally, these countries are found to be more susceptible to exchange rate volatility due to several factors, such as a more fragile economic structure, lower diversification, and currencies with little representativeness and credibility. Moreover, these are typically countries where there is a lack of institutional consolidation that would ensure a relatively stable environment. Bernstein (1997), in analyzing the evolution of studies on uncertainty and risk, emphasizes that the volatility of various securities, stocks, or currencies highlights how often expectations are disappointed.

Indeed, it is observed that Brazil's exchange rate issue is exceptional, considering that, according to data from the Bureau of Labor Statistics Data Finder (2020), the country exhibited the highest volatility in the real effective exchange rate among a group of 60 developed and developing countries analyzed from 1997 to 2020. Moreover, in terms of nominal exchange rates, Brazil was the third most volatile country, surpassed only by Argentina and Turkey (Araújo *et al.*, 2020).

Thus, this work seeks to analyze the behavior of the nominal exchange rate between the Brazilian Real and the US Dollar by adapting the theoretical approach of Uncovered Interest Rate Parity to verify whether country risk influences exchange rate changes. The chosen period for analysis is from January 2012 to December 2022, characterized as one of the most politically unstable periods in the country. The aim is to determine whether the nominal exchange rate was primarily influenced by the interest rate differential and country risk during this period, marked by high political and economic instability.

The empirical analysis was conducted in two stages. First, a multiple linear regression was estimated to verify the relationships between the nominal exchange rate, the interest rate differential between Brazil and the US, and the EMBI+ - as a robustness test, the spread of the 5-year CDS Brazil was also used, adopted as a measure of systematic risk. Subsequently, using these same series, a Vector Autoregressive Model (VAR) was estimated, which, complementarily, uses impulse-response functions to assess the influence of shocks to the variables on the exchange rate and variance decomposition to better analyze the interaction between the model's variables.

The results of the first stage of the analysis demonstrated a negative relationship between the nominal exchange rate and the interest rate differential, meaning that an increase in the internal and external interest rate differential tends to cause a reduction in the nominal exchange rate and a positive relationship between the nominal exchange rate and the risk measure. An increase in the risk measure, therefore, implies an increase in the exchange rate.

Regarding VAR, the results demonstrate that shocks in the interest rate differential lead to a reduction in the exchange rate, while shocks in the country risk cause increases in the exchange rate. This variable was shown to be highly influenced by its past values and by the risk measure, highlighting the role of both backward-looking and forward-looking expectations. Nonetheless, the interest rate differential presents a low percentage of representativeness.

These findings are valuable for the scientific literature investigating emerging markets, by providing empirical evidence on exchange rates in Brazil, as well as for policymakers, financial market analysts, and other economic agents who consider these aspects in their decision-making.

In addition to this introduction, the work comprises four more sections. Section one presents a brief theoretical foundation relevant to the topic, and section two outlines the data and econometric models used. Section three presents and discusses the results and finally, last section concludes.

I. THEORETICAL FRAMEWORK

Uncovered Interest Rate Parity (UIP) represents a central concept in Macroeconomics and International Finance, linking interest rates to expected changes in exchange rate expectations (Kalemli-Özcan and Varela, 2021). UIP is a derivation of Covered Interest Rate Parity (CIRP), initially introduced by Keynes (1924). CIRP can be described as an equation that establishes equality, neutralizing arbitrage in the international arena and serving as a reference for the formation of forward prices in the derivatives market.

The variables are known in the present as the relationships are established between the spot exchange rate, the forward exchange rate, and domestic and foreign interest rates (Rossi, 2016). Besides these characteristics, Frankel (1991) attributes CIRP to the feature of being an efficient measure of perfect capital mobility, where the differential observed would be a country risk. According to Kalemli-Özcan and Varela (2021), this reflects the degree of political uncertainty.

In studies addressing UIP, the primary focus is on confirming its empirical validity. In the international literature, the prominent work of Fama (1984) stands out, which has influenced and resonated through various publications, mainly directed at advanced and developed economies. Fama evaluated currencies from these countries and explained the existence of the "forward premium puzzle," where the exchange rate traded in the futures markets does not reflect the spot rate at a future date, due to distortions caused by currency risk premiums and the fact that the risk premium and expected depreciation rates have a negative covariance. Fama adopts the hypothesis of rational expectations and full information, known as Full Information Rational Expectations (FIRE).

Froot and Frankel (1989) assessed whether the "forward premium puzzle" arises from the risk premium and concluded that this hypothesis is not possible. According to the authors, contrary to the prevailing approach at the time, forecasting errors in future exchange rate expectations are not related to the risk premium but rather to systematic expectation errors.

Kalemli-Özcan and Varela (2021) conducted a comprehensive study, which included a sample of 34 currencies from different countries between 1996 and 2018, with 12 currencies from advanced countries and 22 from emerging countries. After analyzing the respective deviations from Uncovered Interest Rate Parity (UIP), the authors concluded that risk premiums and deviations from rational expectations and full information are intrinsically linked in emerging countries, as global investors demand compensation for excess risk related to political risk. The presence of political risk disrupts the formation of agents' rational expectations.

For Brazil, Garcia and Olivares (2001) stand out, which uses the theoretical framework of Fama (1984), demonstrating that the change in the exchange rate regime in 1999 led to a decrease in the variance of the risk premium about the expected depreciation rate. The importance of the Uncovered Interest Rate Parity model is evident in the work of Bogdanski *et al* (2000), who, in an article on the implementation of the inflation targeting regime, present a family of models used to simulate and identify the transmission mechanisms of monetary policy. Among these models, the UIP condition stands out. The authors present the model in the first difference of the variables: exchange rate, domestic interest rate, foreign interest rates, and risk premium.

Santos and Curado (2013) also use the Uncovered Interest Rate Parity equation in the first difference, employing the same framework presented by Bogdanski, *et al* (2000) for the period from January 2003 to March 2008. According to the authors, exchange rate variation was more influenced by its own lagged variations and country risk, represented by the EMBI+ Brazil, calculated by JP Morgan. The authors used the impulse response function through the vector autoregression (VAR) methodology.

Cieplinski *et al.* (2017) analyzed the validity of the Uncovered Interest Rate Parity theorem for the Brazilian economy between 2000 and 2014 by estimating the parameters related to the interest rate differential. The study found an empirical failure in the parameter, implying a negative relationship between the interest rate differential and exchange rate variation. The work interprets this relationship as indicating that, in times of relative economic stability, the interest rate differential stimulates capital inflows and exchange rate appreciation, justifying the negative relationship. Conversely, in times of instability, capital flight, and exchange rate depreciation, the monetary authority attempts to mitigate capital outflows by manipulating the interest rate differential, resulting in a positive coefficient between exchange rate variation and the interest rate differential.

Regarding the exchange rate issue in Brazil, Rossi *et al.* (2020) utilize the hypothesis of Covered Interest Rate Parity (CIRP) in their work to verify the adjustment of spot and forward exchange rates between the Brazilian Real and the U.S. Dollar through shocks related to the interest rate differential and country risk. The study considers the institutional framework of the Brazilian foreign exchange market, characterized by the greater liquidity of the futures market compared to the spot market. By analyzing the impulse response functions of the VAR model, the effects of shocks in the interest rate differential and the increase in country risk are examined. In the first case, the accumulated effect is the appreciation of the spot and forward exchange rates, but with greater volatility in the spot exchange rate. In the second case, the effect is depreciation, also with greater volatility in the spot rate.

Several studies have investigated exchange rates and Uncovered Interest Rate Parity, providing significant contributions, including Throop (1993), Lothian and Wu (2011), Orellana and Pino (2021), Dreger (2010), Engel (2019), Dimitriou, Kenourgios, and Simos (2017), Hoffmann and Suter (2010), Schmitt-Grohé and Uribe (2022), Engel (2016), Lacerda *et al.* (2010), Burnside (2019), Hsing (2007), Olmo and Pilbeam (2011), and Kouretas (1997). Thus, this work aims to contribute to this scientific literature by providing empirical evidence for the Brazilian exchange rate through Uncovered Interest Rate Parity.

II. METHODOLOGY

Data

The data considered are monthly time series from January 2012 to December 2022, referring to the Brazilian basic interest rate and the nominal exchange rate - both obtained from the Central Bank of Brazil - the U.S. federal funds rate - obtained from the Federal Reserve -, EMBI+, and the 5-year Brazil CDS spread, used as a proxy for country risk. The data frequency is monthly. Table 1 presents the descriptive statistics of the variables considered.

Table 1
Descriptive statistics

	<i>Exch.</i>	<i>Df Rate</i>	<i>EMBI+</i>	<i>CDS</i>
Average	3.62	8.05	279.6	210.9
Std. Dev	1.19	3.87	71.46	79.24
	1.72	1.81	142.0	
Min.				99.11
Max.	5.65	14.03	523.0	488.99
Statistics of the series at the level and the three series are composed of 132 observations.				

Source: elaborated by authors.

The descriptive statistics of the series indicate a behavior of high volatility, as evidenced by both the standard deviation and the range between the minimum and maximum values. The time series was transformed into logarithms to reduce discrepancies in the values.

Ordinary Least Squares

The econometric analysis was conducted in two stages. First, a multiple linear regression was used to examine the relationships between the nominal exchange rate and the interest rate differential between Brazil and the U.S., as well as the risk measure. Complementarily, a VAR (Vector Autoregressive) econometric model was estimated, where the variables were ordered from the most exogenous to the most endogenous. For analyzing the interaction between the variables, the impulse response function was used along with variance decomposition.

The equation for Covered Interest Rate Parity in logarithms is expressed as follows:

$$f - s = i_{brl} - (i_{usd} + \alpha) \quad (1)$$

where i_{brl} and i_{usd} are the domestic interest rate in Brazilian reais and the foreign interest rate in U.S. dollars, respectively; f is the forward exchange rate; s , is the spot exchange rate; and α represents the non-currency risk premium (Rossi *et al.*, 2020).

Frankel (1979) expresses the above relationship assuming market efficiency and that securities from different countries are perfect substitutes:

$$d = i - i^* \quad (2)$$

where i represents the domestic interest rate, i^* is the international interest rate, and d , is the discount rate represented by the logarithm of the future exchange rate f and s , the spot exchange rate.

Using the same relationship, the Uncovered Interest Rate Parity is derived, where d represents the difference between the expected exchange rate and the spot exchange rate of the reference currency (Santos and Curado, 2013). Therefore,

$$d = E[e_{t+1}] - e_t \quad (3)$$

$$E[e_{t+1}] - e_t = i_{brl} - (i_{usd} + \alpha) \quad (4)$$

In this work, the approach of Bogdanski, Tombini, and Werlang (2000) was adopted, which assumes the simplification that changes in exchange rate expectations follow a white noise process, meaning they have constant mean and variance:

$$E[e_{t+1}] - E_{t-1}[e_t] = \eta \quad (5)$$

According to the authors, this hypothesis follows a “random walk with monetary surprise,” where the surprise is characterized by changes in the interest rate differential and the risk premium. Moreover, by taking the first difference of equation (5), we obtain:

$$E[e_{t+1}] - E_{t-1}[e_t] - \Delta e_t = \Delta i_t - \Delta i_t^* - \Delta \alpha_t \quad (6)$$

Therefore, the dynamics of the exchange rate are specified as follows:

$$\Delta e_t = \Delta i_t - \Delta i_t^* + \Delta \alpha_t + \eta_t \quad (7)$$

Santos and Curado (2013) highlight that this model differs from the one usually presented by Uncovered Interest Rate Parity. Moreover, this method demonstrates distinctive characteristics by not requiring the formulation of hypotheses about future exchange rates, while combining the random walk hypothesis with the characteristic of exchange rate sensitivity to the interest rate differential.

The specified model, considering the unknown parameters, is therefore:

$$\Delta e_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta \alpha_t + \beta_2 \Delta (i_t - i_t^*) + \eta_t \quad (8)$$

Where:

Δe_t is the change in the nominal exchange rate;

$\Delta \alpha_t$ is the risk measure represented by the country risk;

$\Delta (i_t - i_t^*)$ is the difference between the domestic and foreign interest rates;

β_0 , β_1 , and β_2 are the parameters of the model.

When estimating the model, the hypothesis to be tested is $\beta_1 > 0$ and $\beta_2 < 0$.

Therefore, a positive relationship between the nominal exchange rate and the country risk, and a negative relationship with the interest rate differential, is expected.

Vector Autoregressive Model (VAR)

Since the research fundamentally utilizes time series data, these are evaluated for stationarity through formal unit root tests, namely ADF (Augmented Dickey-Fuller), KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin), and PP (Phillips-Perron).

Frequently, situations arise, especially in economic models, where evidence suggests that a specific variable is defined endogenously. This scenario is illustrated through short-term models in which the Gross Domestic Product (GDP), consumption, investment, and government spending are simultaneously determined (Ferreira *et al.*, 2018).

In this context, Vector Autoregressive (VAR) models emerge as a solution that proposes to treat all variables of a given system symmetrically, by combining matrix algebra and the Ordinary Least Squares (OLS) Method.

Among the functionalities of VAR models, the ability to capture the effects of shocks in the variables included in the system stands out through impulse response functions, where, for a given set of time series, the model captures the dynamic interactions between these variables (Rossi *et al.*, 2020).

Complementarily, this study employs variance decomposition, which is a function that allows for the analysis of the forecast error variance arising from each endogenous variable (Bueno, 2012).

Since the focus of the study is on the analysis of the nominal exchange rate, in summary, its response to impulses or shocks is analyzed. Through variance decomposition, it is possible to assess the percentage contribution of the studied variables to the total variation of the nominal exchange rate.

The VAR model of order p , in its basic form, can be represented according to the notation used by Rossi *et al.* (2020):

$$Y_t = \sum_1^p AY_{t-1} + u_t \quad (9)$$

Where a set A represents the matrix of coefficients ($K \times K$) for a set of time series variables $Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{kt})$ and u_t are the error terms, where $u_t = (u_{1t}, \dots, u_{kt})$.

For estimating the model, selecting the lag order is also a task of utmost importance, considering the need to balance between a sufficient number of lags for analyzing the temporal dynamics between variables and ensuring that an excess does not impair statistical tests (Bueno, 2012). Therefore, the study uses the main information criteria: Akaike, Schwarz, and Hannan-Quinn.

III. RESULTS

According to Bueno (2012), it is of fundamental importance to verify the stationarity of the analyzed series, as it is possible to find econometric relationships between two or more variables without any causal relationship. On this aspect, the same author warns that visual inspection rarely allows distinguishing series as having deterministic or stochastic trends. For these reasons, the ADF, PP, and KPSS tests are used complementarily, with the null hypotheses being the presence of a unit root in the first two tests and the absence of a unit root in the last one.

Table 2
Unit Root Tests for the Analyzed Series

<i>Series</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS⁽¹⁾</i>	<i>PP</i>
Δ Exchange Rate	-7,5977***	0,1006***	-88,706
Δ EMBI+	-8.2924***	0.0384***	-123.51
Δ Interest Rate Differential	-4,115***	0,2334***	-36,5481
Δ CDS	-8,0932***	0,0451***	-109,2601
The series is in logarithms and first differences.			
(1) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.			
(2) The null hypothesis of the KPSS test is stationarity.			

Source: elaborated by authors.

Table 2 presents the results of the unit root tests, indicating that all three series are stationary at a 1% significance level, as determined by both the ADF and KPSS tests. Additionally, based on the Phillips-Perron test, the null hypothesis of a unit root is rejected for all series.

Main Results

The empirical findings presented in Tables 3 to 6 and Figures 1 to 5 provide substantive evidence on the dynamics governing the Brazilian nominal exchange rate relative to country risk and the interest rate differential.

Results of the Multiple Linear Regression

The multiple linear regression results presented in Table 3 reveal two critical aspects regarding the determinants of the Brazilian nominal exchange rate. First, the statistically significant and positive coefficient associated with the EMBI+ measure indicates that increases in country risk are systematically linked to currency depreciation. This relationship supports the theoretical argument that in emerging economies,

elevated risk premiums, often driven by political and economic instability, contribute directly to exchange rate fluctuations (Kalemli-Özcan & Varela, 2021).

Second, the lack of statistical significance for the interest rate differential suggests that traditional arbitrage mechanisms posited by the Uncovered Interest Rate Parity (UIP) condition do not hold in this context, a finding consistent with prior Brazilian studies (Cieplinski *et al.*, 2017) that document empirical deviations from UIP under conditions of heightened market uncertainty. Thus, preliminary evidence suggests that the change in Brazilian exchange rate markets is more sensitive to country risk than interest rate differentials.

Table 3
Multiple Linear Regression

	<i>Dependent Variable</i>
	Δe_t
Intercept	0.008003** (0.002900)
EMBI+	0.177319*** (0.028311)
Interest Rate Differential	-0.027202 (0.042632)
EMBI+	0.177319*** (0.028311)
Observations	396
R ²	0.2374
Adjusted R ²	0.2254
F Statistic (DF = 128)	19.92***

This Table reports the results of the multiple linear regression estimating the impact of country risk (EMBI+) and interest rate differential on the Brazilian nominal exchange rate from 2012 to 2022.

Source: elaborated by authors.

Results of the Vector Autoregressive Model

The Granger causality tests summarized in Table 4 further substantiate the exogenous role of country risk in driving exchange rate dynamics. The rejection of the null hypothesis that EMBI+ does not Granger-cause changes in the nominal exchange rate and interest rate differential confirms that past fluctuations in country risk significantly influence future exchange rate behavior. Conversely, the inability to reject the null hypothesis for the reverse causality pathways suggests that the nominal exchange rate and interest rate differential do not independently exert a predictive effect on country risk within the analyzed period. These findings reinforce the critical role of risk perceptions as a primary exogenous factor shaping exchange rate movements in Brazil, in line with theoretical models emphasizing the role of sovereign risk in emerging market currency dynamics (Rossi, 2016).

Table 4
Granger Causality Tests

H0	Nominal Exchange Rate Does Not Granger-Cause Embi+ and Rate Difference	p-value	0.4411
H0	Non-Granger-caused Rate Differences between Embi+ and Nominal Exchange Rates	p-value	0.1273
H0	Embi+ does not Granger-cause difference in rates and Nominal Exchange Rates	p-value	5.113E-05
This Table presents the Granger causality test results among the EMBI+, interest rate differential, and nominal exchange rate, indicating the direction of predictive relationships.			

Source: elaborated by authors.

Table 5, detailing the lag selection criteria, indicates that a lag length of one period is optimal across the Akaike Information Criterion (AIC), Schwarz Criterion (SC), and Hannan-Quinn (HQ) measures. This parsimonious model structure balances the need to capture dynamic interrelationships among the variables while avoiding over-parameterization. The selected lag structure ensures that the subsequent impulse-response and variance decomposition analyses adequately reflect the immediate temporal dynamics without introducing excessive complexity, consistent with best practices in time series econometrics (Bueno, 2012).

Table 5
Lag selection

<i>Lag (p)</i>	<i>AIC</i>	<i>SC</i>	<i>HQ</i>
1	-1.747751e+01	-1,713092e+01	-1,733675e+01
2	-1,741148e+01	-1,685695e+01	-1,718626e+01
3	-1,737300e+01	-1,661052e+01	-1,706333e+01
4	-1,730671e+01	-1,633627e+01	-1,691258e+01
5	-1,724009e+01	-1,606170e+01	-1,676150e+01

This Table shows the optimal lag selection for the VAR model based on the Akaike (AIC), Schwarz (SC), and Hannan-Quinn (HQ) information criteria.

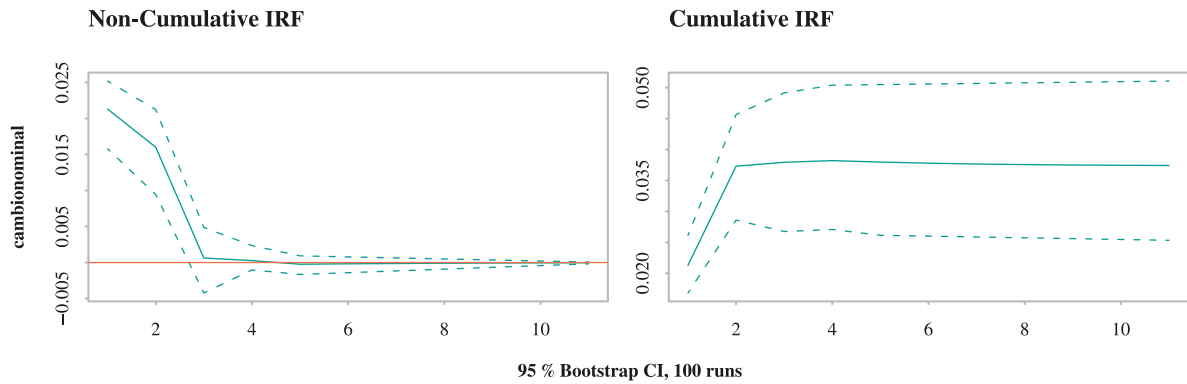
The lowest relative values are found with a lag in the three measurements.

Source: elaborated by authors.

Impulse Response Functions

The impulse-response analysis visualized in Figure 1 illustrates the dynamic effect of EMBI+ shocks on the nominal exchange rate. Specifically, a positive shock to country risk induces an immediate and pronounced depreciation of the Brazilian Real, with the effect dissipating after approximately three periods. This temporal pattern underscores the sensitivity of the Brazilian currency to shifts in sovereign risk perceptions, corroborating the argument that forward-looking expectations in emerging markets rapidly adjust to new information about country risk (Kalemli-Özcan & Varela, 2021).

Figure 1
Response of the Nominal Exchange Rate to Embi+ Shocks

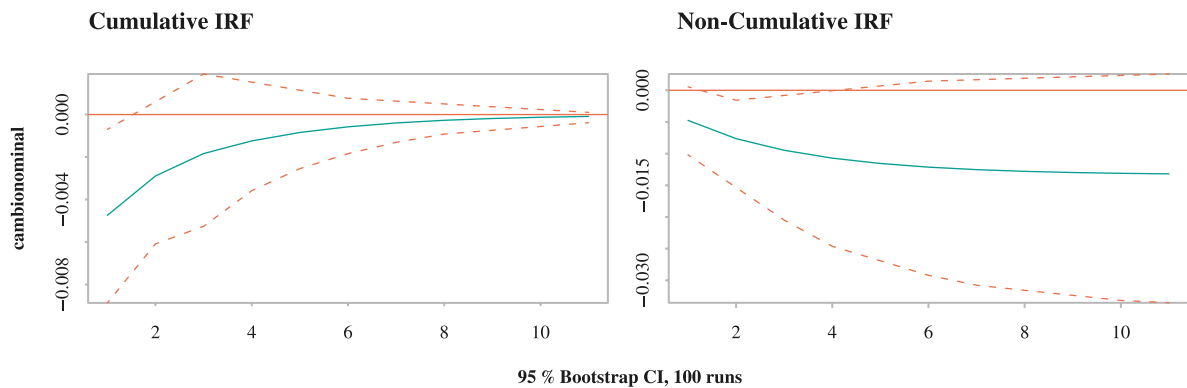


Note: this Figure depicts the impulse response of the nominal exchange rate to a one-standard-deviation shock in EMBI+, highlighting the immediate and short-term depreciation effect.

Source: elaborated by authors.

Complementary to this, Figure 2 demonstrates that shocks to the interest rate differential result in a moderate appreciation of the nominal exchange rate. However, the magnitude of this effect is considerably smaller and more persistent relative to the impact of country risk shocks. This asymmetry in the impulse responses indicates that while interest rate differentials exert some influence on exchange rate movements, their role is secondary to that of country risk in the Brazilian context, especially during periods characterized by significant political and economic instability.

Figure 2
Rate and Exchange Rate Response to Rate Differential



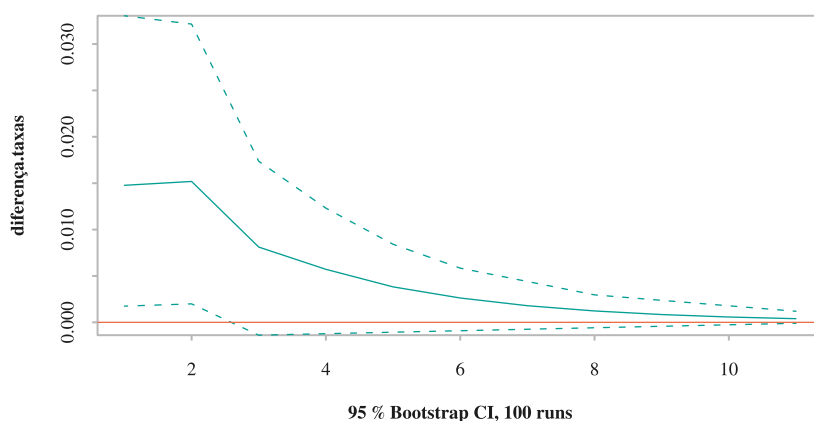
Note: this Figure shows the impulse responses of both the nominal exchange rate and the interest rate to shocks in the interest rate differential.

Source: elaborated by authors.

The interdependence between country risk and interest rate differentials is further explored in Figures 3 and 4. Figure 3 shows that an increase in country risk is followed by an elevation in the interest rate differential, reflecting the likely monetary policy response aimed at preventing capital flight and curbing further depreciation of the currency. This reaction is consistent with the policy behavior documented in previous studies (Rossi *et al.*, 2020), which emphasize the strategic use of interest rates by monetary authorities to mitigate risk-induced exchange rate volatility. Conversely, Figure 4 illustrates that shocks to the interest rate differential exert only a marginal and transient effect on the EMBI+, suggesting that while monetary policy adjustments respond to country risk, they do not significantly alter market perceptions of sovereign risk in the short term.

Figure 3
Interest Rate Differential Response to Embi+ Shock

Orthogonal Impulse Response from embiplus

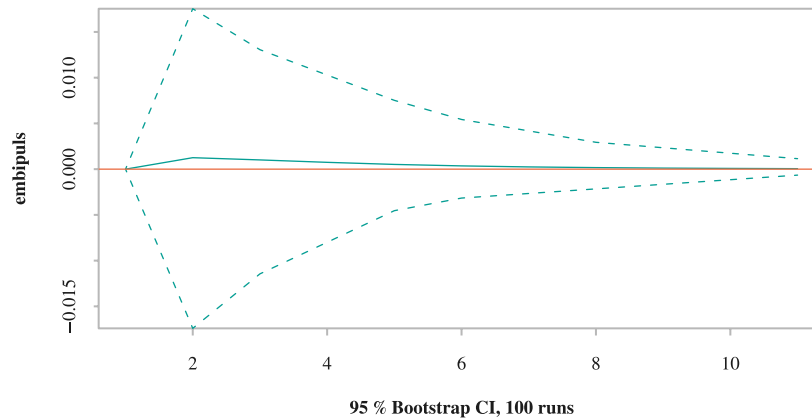


Note: this Figure illustrates the dynamic response of the interest rate differential to a shock in EMBI+, suggesting a monetary policy reaction.

Source: elaborated by authors.

Figure 4
EMBI+ Response to Interest Rate Differential

Orthogonal Impulse Response from diferença.taxes



Note: this Figure displays the response of EMBI+ to shocks in the interest rate differential, indicating minimal reverse causality.

Source: elaborated by authors.

Variance Decomposition

The decomposition of forecast error variance, as reported in Table 6 and visualized in Figure 5, provides quantitative confirmation of the dominant role of country risk and past exchange rate values in driving exchange rate variability. Specifically, the variance decomposition indicates that approximately 42% of the variation in the nominal exchange rate is attributable to the EMBI+, while about 56% is explained by its own lagged values. In stark contrast, the interest rate differential accounts for a negligible share, stabilizing around 1,3%. This distribution highlights the dual influence of forward-looking risk perceptions and backward-looking expectations in determining exchange rate dynamics, aligning with the broader literature on emerging market exchange rate behavior (Santos and Curado, 2013).

Table 6
Variance Decomposition

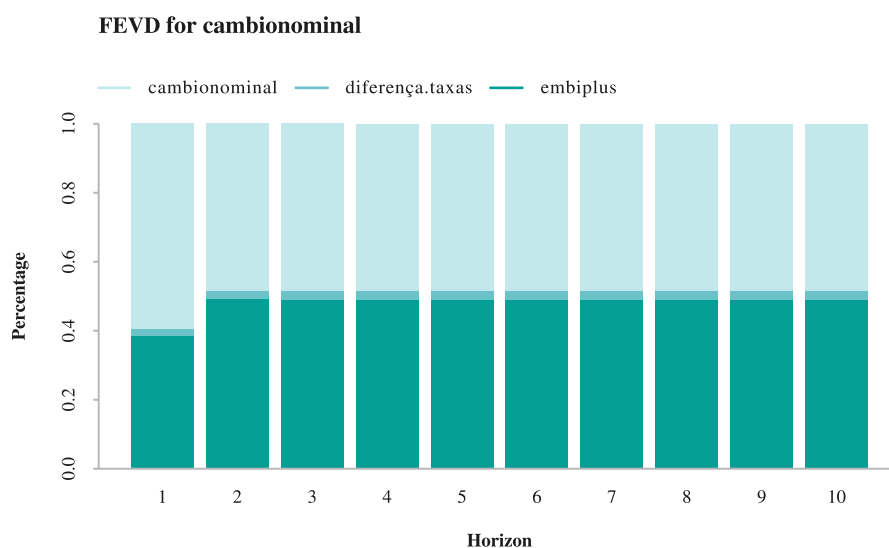
<i>EMBI+</i>	<i>TX Difference</i>	<i>Nominal Exchange Rate</i>
0.2936109	0.004778686	0.7016104
0.4221087	0.009690017	0.5682013
0.4209061	0.011252927	0.567841
0.4206322	0.012097556	0.5672702
0.4204789	0.012478431	0.5670426

<i>EMBI+</i>	<i>TX Difference</i>	<i>Nominal Exchange Rate</i>
0.4204044	0.012663152	0.5669325
0.4203705	0.012751099	0.5668784
0.4203542	0.012793305	0.5668525
0.4203465	0.012813522	0.56684
0.4203427	0.012823214	0.566834

This Table presents the variance decomposition of the forecast error in the nominal exchange rate, showing the relative contributions of its lags, EMBI+, and interest rate differential.

Source: elaborated by authors.

Figure 5
Variance Decomposition



Note: this Figure visualizes the results of the variance decomposition from Table 6, emphasizing the dominant role of past exchange rates and country risk.

Source: elaborated by authors.

In summary, the collective results from the multiple linear regression, VAR model, impulse-response functions, and variance decomposition analyses converge on a coherent narrative: the Brazilian nominal exchange rate during the period from 2012 to 2022 was predominantly shaped by country risk and historical exchange rate levels, with minimal influence from the interest rate differential.

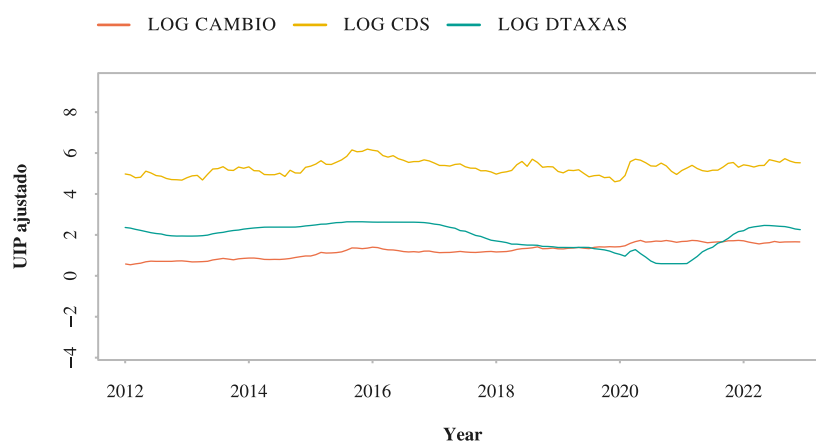
These findings reinforce critiques of the UIP condition's applicability in emerging markets, emphasizing the need for policymakers to prioritize risk management and institutional stability as central components of exchange rate policy. The Brazilian case illustrates how heightened political and economic uncertainty amplifies the role of sovereign risk in driving exchange rate dynamics, providing valuable insights for both scholars and practitioners concerned with the complexities of currency behavior in similar economic environments.

Robustness Checks

The assumption to be tested as a robustness check is that of Embi+ as a credible measure of country risk. To test that assumption, we use the 5-year Credit Default Swaps (CDS) as an alternative measure of country risk.

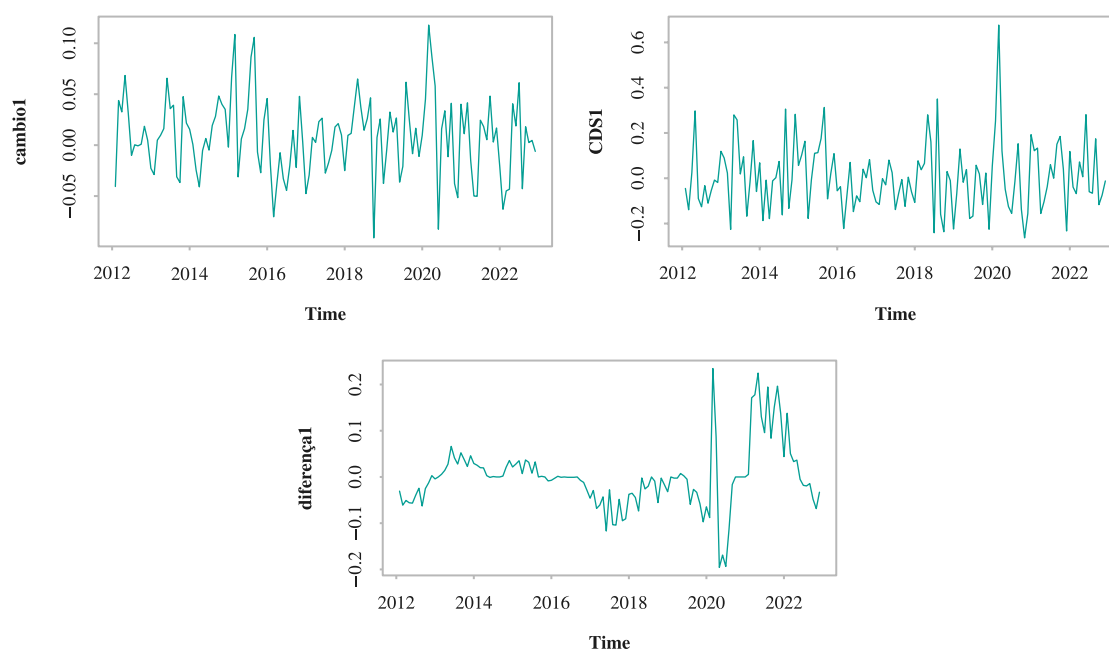
Figure 6 presents the historical trajectory of the series after the transformation, and Figure 7 shows the series in the first difference.

Figure 6
Series in natural logarithm



Source: elaborated by authors.

Figure 7
Series in first difference



Source: prepared by the authors.

Results of the Multiple Linear Regression

Table 7 presents the multiple linear regression results using this specification. Consistent with the baseline model, the coefficient for the CDS variable remains positive and statistically significant at the 1% level, reaffirming the critical role of country risk in explaining nominal exchange rate movements. The interest rate differential, once again, fails to achieve statistical significance, underscoring the limited explanatory power of arbitrage conditions implied by Uncovered Interest Rate Parity (UIP).

These findings resonate with Kalemli-Özcan and Varela (2021), who argue that in emerging economies, deviations from UIP are often driven by sovereign risk considerations rather than interest rate differentials. Moreover, the increase in the adjusted R^2 to 0.341 suggests a stronger model fit when CDS is employed, implying that CDS may more precisely capture market perceptions of country-specific risk relative to EMBI+.

Table 7
Multiple Linear Regression

	<i>Dependent Variable</i>
	Δe_t
Intercept	0.007529** (0.002676)
CDS	0.154205*** (0.018624)
Interest Rate Differential	-0.043706 (0.039417)
Observations	396
R ²	0,3512
Adjusted R ²	0,341
F Statistic (DF = 128)	34,64***
This Table shows regression results using CDS as an alternative proxy for country risk, confirming its significant influence on the nominal exchange rate.	

Source: elaborated by authors.

The statistical validity of these results is further supported by diagnostic tests. The Shapiro-Wilk test for normality and the Breusch-Pagan test for homoscedasticity confirm that the residuals of the regression model satisfy standard econometric assumptions, thereby enhancing the reliability of the estimated coefficients. These diagnostics bolster the credibility of the CDS-based specification and affirm its appropriateness for capturing the impact of country risk on exchange rate dynamics in the Brazilian context.

Results of the Vector Autoregressive Model

Turning to the Vector Autoregressive model, Table 8 presents the Granger causality results for the model incorporating the CDS measure. As in the main specification, the CDS is found to Granger-cause both the nominal exchange rate and the interest rate differential, reaffirming its exogenous influence within the system. Conversely, the reverse causal relationships are not statistically supported.

This outcome corroborates findings by Froot and Frankel (1989), who argue that systematic expectation errors—rather than forward-looking arbitrage—drive exchange rate movements when risk premiums are

salient. The sustained exogeneity of CDS confirms its pivotal role in shaping forward-looking expectations among market participants.

Table 8
Granger Causality Tests

H0	Nominal Exchange Rate Does Not Granger-Cause CDS and Rate Difference	p-value	0.2573
H0	Non-Granger-caused Rate Differences between CDS and Nominal Exchange Rates	p-value	0.1567
H0	CDS does not Granger-cause difference in rates and Nominal Exchange Rates	p-value	5.86E-05
This Table provides Granger causality results with CDS, supporting the exogeneity of country risk about the exchange rate and interest rate differential.			

Source: elaborated by authors.

Table 9 offers updated lag selection criteria based on the revised VAR model. Consistent with earlier results, a one-period lag is preferred across all three information criteria. This suggests that the dynamic interactions among CDS, interest rate differentials, and the exchange rate are most effectively captured with minimal lag length, aligning with the specification adopted in the main analysis. The Breusch-Godfrey LM test for serial correlation indicates no significant autocorrelation in the residuals, while eigenvalue stability tests confirm the stationarity of the VAR system, supporting the robustness and reliability of the dynamic specifications.

Table 9
Lag selection

<i>Lag (p)</i>	<i>AIC</i>	<i>SC</i>	<i>HQ</i>
1	-1,69e+01	-1,65e+01	-1,67e+01
2	-1,68e+01	-1,63e+01	-1,66e+01
3	-1,68e+01	-1,60e+01	-1,65e+01
4	-1,67e+01	-1,57e+01	-1,63e+01
5	-1,67e+01	-1,55e+01	-1,62e+01

This Table reports lag order selection for the VAR model incorporating CDS, with a one-lag structure being optimal across all criteria.

The lowest relative values are found with a lag in the three measurements.

Source: elaborated by authors.

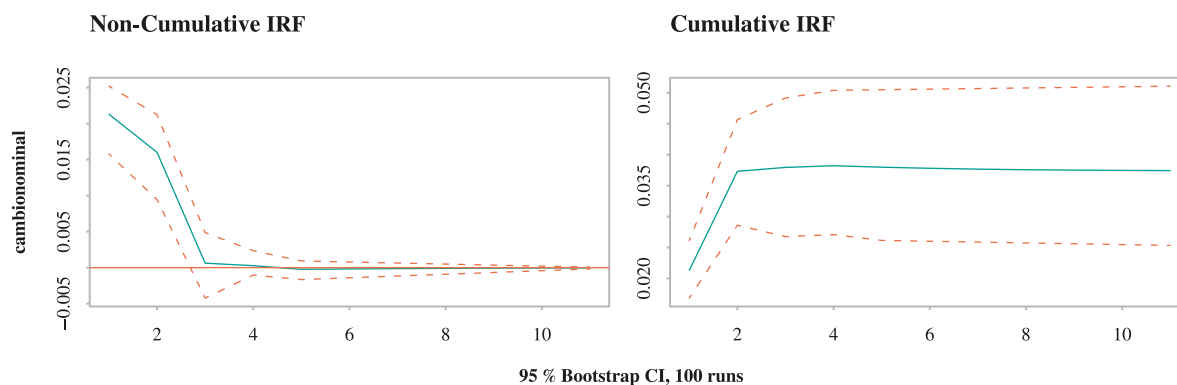
Impulse Response Functions

The impulse-response functions presented in Figures 8 and 9 illustrate the dynamic responses of the nominal exchange rate to shocks in the CDS and the interest rate differential, respectively. In Figure 8, a shock to CDS generates an immediate depreciation of the Brazilian Real, with the response stabilizing at a higher exchange rate level after three periods. This finding reiterates the conclusions drawn from the baseline analysis using

EMBI+ and is strongly aligned with the empirical narrative posited by Santos Souza and Curado (2013), who underscore the significance of political risk shocks in destabilizing exchange rates in Brazil.

Figure 9 confirms that while the interest rate differential induces an appreciation of the exchange rate, the magnitude and persistence of this effect are notably weaker than those of CDS shocks, again suggesting a subordinate role for UIP-based mechanisms in this context.

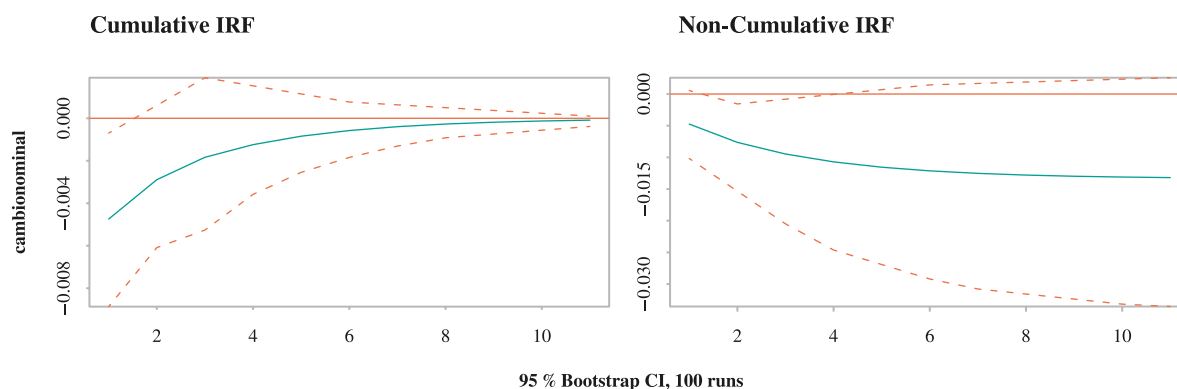
Figure 8
Response of the Nominal Exchange Rate to CDS Shocks



Note: this Figure shows the nominal exchange rate's impulse response to CDS shocks, illustrating depreciation effects like those observed with EMBI+.

Source: elaborated by authors.

Figure 9
Rate and Exchange Rate Response to Rate Differential



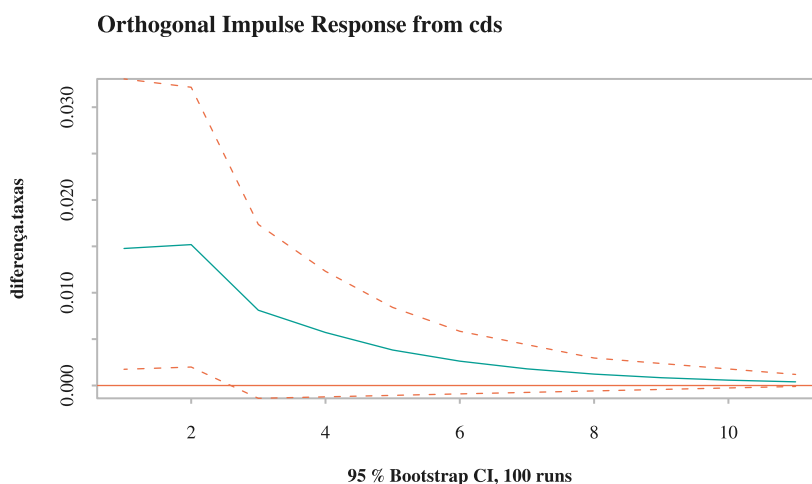
Note: this Figure depicts the impulse response of the exchange rate and interest rate to shocks in the rate differential using the CDS-based model.

Source: elaborated by authors.

Figures 10 and 11 further dissect the interaction between CDS and the interest rate differential. In Figure 10, an increase in CDS leads to a subsequent rise in the interest rate differential, suggesting that the Central Bank may adjust policy rates to counteract capital outflows and restore exchange rate stability, a behavior consistent with the policy transmission mechanisms documented by Bogdanski *et al.* (2000). In Figure 11, the reciprocal effect is weaker: a shock to the interest rate differential only marginally increases CDS levels.

This suggests that while monetary policy shifts may have short-term impacts on market sentiment, they are insufficient to durably reshape investor perceptions of sovereign risk. These asymmetries highlight the limited scope of conventional monetary tools in managing exchange rate expectations during periods of elevated political uncertainty.

Figure 10
Interest Rate Differential Response to CDS Shock

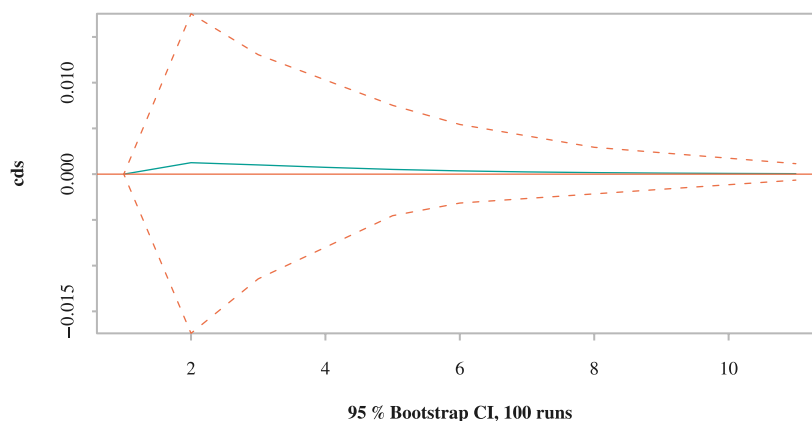


Note: this Figure presents the reaction of the interest rate differential to a CDS shock, indicating policy adjustments in response to rising risk.

Source: elaborated by authors.

Figure 11
CDS Response to Interest Rate Differential

Orthogonal Impulse Response from diferença.taxas



Note: this Figure shows the minor effect of shocks in the interest rate differential on CDS, suggesting limited reverse feedback.

Source: elaborated by authors.

Variance Decomposition

The results of the revised variance decomposition are detailed in Table 10 and Figure 12. Similar to the baseline analysis, CDS emerges as the dominant explanatory factor, accounting for approximately 49% of the variance in the nominal exchange rate. Past values of the exchange rate itself explain nearly 48%, while the contribution of the interest rate differential remains marginal at approximately 2.5%. These proportions mirror those observed with the EMBI+ measure, reinforcing the robustness of the study's central conclusion: exchange rate movements in Brazil during 2012–2022 are primarily driven by country risk and retrospective expectations. The near-identical variance structure across both risk proxies further substantiates the theoretical insights of Engel (2016), who emphasizes the role of risk premiums in mediating exchange rate behavior in financially open, politically volatile economies.

Table 10
Variance Decomposition

<i>CDS</i>	<i>TX Difference</i>	<i>Nominal Exchange Rate</i>
0.3863419	0.0191514	0.5945067
0.4932743	0.02142816	0.4852976
0.4917112	0.02368076	0.484608
0.4912043	0.02471669	0.484079
0.4909753	0.02519443	0.4838303

<i>CDS</i>	<i>TX Difference</i>	<i>Nominal Exchange Rate</i>
0.4908716	0.02541775	0.4837107
0.4908246	0.02552226	0.4836531
0.4907924	0.02557127	0.4836261
0.4907924	0.02559426	0.4836133
0.4907876	0.02560505	0.4836074

This Table details the variance decomposition results with CDS, reinforcing the dominant role of country risk and exchange rate lags.

Source: elaborated by authors.

Figure 12
Variance Decomposition



Note: this Figure visualizes the forecast error variance shares in the CDS-based VAR model, highlighting the minimal impact of the interest rate differential.

Source: elaborated by authors.

In conclusion, the robustness checks conducted with CDS as an alternative proxy for country risk confirm the central findings of the study. The consistency across regression outcomes, VAR dynamics, impulse responses, and variance decompositions affirms the dominant influence of sovereign risk perceptions on the nominal exchange rate. The negligible role of the interest rate differential across all models further challenges the empirical relevance of UIP in the Brazilian context. These results underscore the importance of incorporating political risk considerations into exchange rate modeling for emerging markets and validate the robustness of the empirical framework employed in this analysis.

Additionally, with the results being maintained with the different variables used to represent country risk, firstly, the EMBI+ and - as a measure of robustness - the CDS, these results also reinforce how much one of these variables can serve as a proxy for the other, in cases of the absence of databases.

CONCLUSION

This work aimed to investigate the Brazilian exchange rate by analyzing the behavior of the nominal exchange rate between the Real and the Dollar through the uncovered parity of the interest rate to verify whether country risk influences exchange rate changes. For this purpose, data related to the period from 2012 to 2022 were considered and a multiple linear regression model was estimated – aiming to verify the relationship between the variables – and a multivariate VAR model with the combination of impulse-response functions and variance decomposition.

The results of the multiple linear regression indicate that there is a negative relationship between the nominal exchange rate of the Real/Dollar and the Brazilian interest rate differential and the US interest rate differential, while there is a positive relationship between country risk. The VAR model estimates identified the responses of the exchange rate to shocks in the interest rate differential and country risk, with the variance decomposition indicating a relatively low influence of the interest rate differential found in the variance decomposition with a percentage of approximately 2.5%.

There is a strong influence of backward-looking expectations, represented by the influence of the lagged exchange rates themselves, with a percentage of approximately 48% captured through variance decomposition. Regarding country risk, a notable relevance of approximately 49% is noted, which suggests the influence of the political instability environment observed during the period, in which an impeachment process took place, various moments of tension in relations between the powers of the republic, and a process of political polarization. As each of the models was estimated separately using two different variables that represent country risk, firstly the EMBI+ and - as a measure of robustness - the CDS, and the results remained the same, the results of the work also contribute evidence for the use of one of these variables as a proxy for the others, in the absence of observations.

These findings are useful for the scientific literature that investigates emerging markets, by providing empirical evidence for the Brazilian nominal exchange rate based on the Uncovered Interest Rate Parity, as well as for policymakers, financial market analysts, and other economic agents who consider these aspects in their decisions. As a suggestion for future research, it is suggested that the influences of institutional development on the exchange rates of emerging countries in the recent period be investigated.

Finally, we state the absence of COVID-19 related factors in the analysis as a limitation. In addition to political instability, the COVID-19 pandemic also contributed to exchange rate volatility during the analysis period by disrupting financial markets and reducing international mobility. Given Brazil's strong tourism sector, especially related to its coastal destinations, the decline in tourist inflows likely amplified exchange rate fluctuations. This highlights the need to consider pandemic-related shocks alongside institutional factors in understanding exchange rate dynamics in future studies.

REFERENCES

- Araújo, E. C., Araujo, E. L. & Brito, E. C. (2020). Exchange rate volatility, uncertainty, and investment: evidence for Brazilian companies (1997-2019). In *National meeting of economics*, 48, 2020, Brasília. Proceedings [...]. Brasília: Anpec, p. 1-20.
- Bernstein, P. L. (1997). *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. 3rd ed. Rio de Janeiro: Campus.
- Bogdanski, J., Tombini, A. A. & Werlang, S. R. Da C. (2000). *Implementing inflation targeting in Brazil*. Brasília: Banco Central do Brasil. (Working Paper, n. 1).
- Bueno, R. de L. da. S. (2012). *Time Series Econometrics*. São Paulo: CENGAGE Learning Editions Ltda.
- Bureau of Labor Statistics. (2020). *Bureau of Labor Statistics Data Finder: Consumer Price Index – All Urban Consumers*. Washington, DC: BLS.
- Burnside, C. (2019). Exchange rates, interest parity, and the carry trade. In *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*.
- Cassel, G. (1918). Abnormal Deviations in International Exchanges. *The Economic Journal*, 28(112), 413-415. <https://doi.org/10.2307/2223329>
- Cieplinski, A., Braga, J. & Summa, R. (2017). An assessment of the empirical failure of the uncovered parity theorem of the interest rate between the Real and the Dollar. *Economia e Sociedade*, 26(2), 401-426.
- Dimitriou, D., Kenourgios, D. & Simos, T. (2017). Financial crises, exchange rate linkages and uncovered interest parity: Evidence from G7 markets. *Economic Modelling*, 66(C), 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.06.003>
- Dreger, C. (2010). Does the nominal exchange rate regime affect the real interest parity condition? *The North American Journal of Economics and Finance*, 21(3), 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2010.01.001>
- Eichengreen, B. (2000). *Globalização do Capital: história do sistema financeiro mundial*. São Paulo: Editora 34.
- Engel, C., Lee, D., Liu, C., Liu, C. & Wu, S. P. Y. (2019). The uncovered interest parity puzzle, exchange rate forecasting, and Taylor rules. *Journal of International Money and Finance*, 95, 317-331. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2018.03.008>
- Engel, C. (2016). Exchange rates, interest rates, and the risk premium. *American Economic Review*, 106(2), 436-474. <https://doi.org/10.1257/aer.20121365>
- Fama, E. F. (1984). Forward and spot exchange rates. *Journal of Monetary Economics*, 14(3), 319-338. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(84\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0304-3932(84)90046-1)
- Ferreira, P. C., Barros, A. C., Mattos, D. M., Oliveira, I. C. L., Ferreira, P. G. C. & Duca, V. E. L. A. (2018). *Time Series Analysis in R: introductory course*. Rio de Janeiro: Elsevier FGV IBRE.
- Fleming, J. M. (1962). Domestic Financial Policies under Fixed and under Floating Exchange Rates. *IMF Staff Papers*, 9, (November).
- Frankel, J. A. (1991). Quantifying international capital mobility in the 1980's. In: Bernheim, B. D. & Shoven, J. B. (eds.). *National saving and economic performance*. Chicago: The University of Chicago Press, National Bureau of Economic Research.
- Froot, K. A. & Frankel, J. A. (1989). Forward discount bias: is it an exchange risk premium? *The Quarterly Journal of Economics*, 104(1), 139- 161. <https://doi.org/10.2307/2937838>
- Garcia, M. & Olivares, G. (2001). O Prêmio de Risco da Taxa de Câmbio no Brasil durante o Plano Real. *Revista Brasileira de Economia*, 55(2), 151-182.
- Hsing, Y. (2007). Exchange rate fluctuations in Croatia: test of uncovered interest rate parity and the open economy model. *Applied Economics Letters*, 14(11), 785-788. <https://doi.org/10.1080/13504850600689980>

- Hoffmann, M. & Suter, R. (2010). The Swiss franc exchange rate and deviations from uncovered interest parity: global vs domestic factors. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 146(1), 349-371.
- Kalemli-Özcan, S. & Varela, L. (2021). Five Facts about the UIP Premium. *National Bureau of Economic Research*, n. 28923.
- Keynes, J. M. (1924). *A tract on monetary reform*. London: Macmillam and Co.
- Kouretas, G. P. (1997). Identifying linear constraints in the monetary exchange rate model and uncovered interest parity: evidence from Canadian-US dollar cointegration. *The Canadian Journal of Economics*, 30(4a), 875-890. <https://doi.org/10.2307/136275>
- Lacerda, M., Fedderke, J. W. & Haines, L. M. (2010). Testing for purchasing power parity and uncovered interest parity in the presence of monetary and exchange rate regime shifts. *South African Journal of Economics*, 78(4), 363-382.
- Lothian, J. R. & Wu, L. (2011). Uncovered interest-rate parity over the past two centuries. *Journal of International Money and Finance*, 30(3), 448-473. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2011.01.005>
- Mundell, R. (1960). The Monetary Dynamics of International Adjustment under Fixed and Flexible Exchange Rates. *Quarterly Journal of Economics*, 74(2), 227-257. <https://doi.org/10.2307/1884252>
- Olmo, J. & Pilbeam, K. (2011). Uncovered interest parity and the efficiency of the foreign exchange market: a re-examination of the evidence. *International Journal of Finance & Economics*, 16(2), 189-204. <https://doi.org/10.1002/ijfe.429>
- Orellana, V. & Pino, G. (2021). Uncovered interest rate parity: A gravity-panel approach. *Heliyon*, 7(11). e08350. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08350>
- Rossi, P., Araújo, E. & Barbosa-Filho, N.H. (2020). Adjustment of the exchange rate to the covered interest rate parity in Brazil. *Nova Economia*, 30(1), 95-110. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/4700>
- Rossi, P. (2016). *Exchange rate and exchange rate policy in Brazil: theory, institutionalality, role of arbitration and speculation*. 1st ed. Rio de Janeiro: FGV Editora.
- Santos, G. R. & Curado, M. (2013). Exchange rate behavior in Brazil: an analysis based on uncovered interest rate parity. *Análise Econômica*, 31(59), 103-122. <https://doi.org/10.22456/2176-5456.17145>
- Schmitt-Grohé, S. & Uribe, M. (2022). The effects of permanent monetary shocks on exchange rates and uncovered interest rate differentials. *Journal of International Economics*, 135, 103560. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2021.103560>
- Throop, A. W. (1993). A generalized uncovered interest parity model of exchange rates. *Economic Review-Federal Reserve Bank of San Francisco*, (2), 3-16.

Volumen de transacciones, rendimientos y volatilidad del Bitcoin: Modelo de Heterocedasticidad Condicional Asimétrica (2017-2024)

Trading volume, returns, and volatility of Bitcoin: Asymmetric Conditional Heteroskedasticity Model (2017–2024)

María Fernanda Urbán Cortés* y Eduardo Rosas Rojas**

*Actuaría BBVA México, Ciudad de México.

Correo electrónico: mariafernanda.urban@bbva.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0675-4866>

**Profesor investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Correo electrónico: erosasr@uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7255-7778>

RESUMEN

Este estudio analiza la relación entre el volumen de transacciones, la volatilidad y los rendimientos de Bitcoin, demostrando que la volatilidad suele estar sobreestimada cuando no se considera el volumen negociado. Se emplea el modelo asimétrico GJR-GARCH para capturar la dinámica de la volatilidad condicional y evaluar su reacción ante choques positivos y negativos. El análisis abarca el periodo 2017-2024 y cuatro submuestras identificadas mediante la prueba de Bai-Perron para detectar quiebres estructurales. Los resultados indican que la alta volatilidad observada en estudios previos se debe, en gran parte, al bajo volumen de transacciones. Además, se encontró una relación positiva entre el volumen y los rendimientos, así como entre el volumen y la volatilidad en todas las submuestras. Finalmente, se identificó un efecto de apalancamiento tradicional en periodos de crisis y un efecto de apalancamiento inverso en fases expansivas, evidenciando la compleja dinámica del mercado del Bitcoin.

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between trading volume, volatility, and Bitcoin returns, demonstrating that volatility is often overestimated when trading volume is not considered. The asymmetric GJR-GARCH model is employed to capture the dynamics of conditional volatility and assess its reaction to positive and negative shocks. The analysis covers the period from 2017 to 2024 and four subsamples identified using the Bai-Perron test to detect structural breaks. The results indicate that the high volatility observed in previous studies is largely due to low trading volume. Additionally, a positive relationship was found between volume and returns, as well as between volume and volatility across all subsamples. Finally, a traditional leverage effect was identified during crisis periods, while an inverse leverage effect was observed in expansion phases, highlighting the complex dynamics of the Bitcoin market.

Recibido: 17/marzo/2025

Aceptado: 16/julio/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Bitcoin |
| Volatilidad |
| Volumen de transacciones |
| GJR-GARCH |

Keywords:

| Bitcoin |
| Volatility |
| Trading volume |
| GJR-GARCH |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

G12, G15, C58, D53



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

INTRODUCCIÓN

Bitcoin ha ganado una atención creciente en los medios, la academia y la industria financiera, consolidándose como el activo dominante del mercado de criptomonedas,¹ con una capitalización de 1.34 billones de dólares en

1. En este documento, los términos criptomoneda, moneda y activo se utilizan de manera intercambiable para referirse a Bitcoin, en virtud de su naturaleza híbrida. Aunque fue diseñado como una moneda digital, diversos estudios (Yermack, 2015; Dyhrberg, 2016a; Baur *et al.*, 2018) han señalado que su elevada volatilidad y su uso

octubre de 2024, equivalente al 57% del sector (Coinmarketcap, 2024). Aunque es una moneda relativamente nueva, su alta volatilidad, superior a la de las monedas tradicionales, la asemeja más a una inversión especulativa que a un medio de pago (Yermack, 2015). Sin embargo, aún persiste una brecha en la investigación sobre el papel del volumen de transacciones como predictor de los rendimientos y la volatilidad de Bitcoin, especialmente considerando la asimetría de los choques y los cambios estructurales. Para abordar esta laguna, este estudio analiza la relación entre estas variables en el periodo 2017-2024, una etapa de transformación significativa marcada por fuertes fluctuaciones de precios, variaciones en el volumen de transacciones y la introducción de derivados financieros, como los futuros de Bitcoin.

Este estudio busca demostrar que la volatilidad histórica de los rendimientos de Bitcoin suele estar sobreestimada cuando no se considera el volumen de transacciones, ya que su inclusión proporciona una visión más equilibrada y precisa. Para ello, se analiza la evolución del tipo de cambio Bitcoin-dólar estadounidense y su volatilidad en comparación con monedas fiduciarias, demostrando que la volatilidad de Bitcoin es menos extrema al incorporar el volumen de transacciones. Asimismo, se examina la relación entre volumen, rendimientos y volatilidad, evaluando la posible asimetría en la reacción de la volatilidad ante cambios inesperados. A través de modelos GJR-GARCH aplicados a diferentes periodos, se encuentra una relación positiva y significativa entre estas variables, además de signos ambivalentes en el término GARCH asimétrico, lo que sugiere la coexistencia de un efecto de apalancamiento tradicional y un efecto de apalancamiento inverso.

Con base en los modelos de microestructura de mercado, como los propuestos por Glosten *et al.* (1993) y Easley *et al.* (1996), se distingue entre operadores informados (*insiders*) y operadores no informados (*noise traders*). Se asume que los operadores informados poseen información fundamental sobre el valor del activo y ajustan su estrategia de negociación en consecuencia. Específicamente, compran el activo cuando está infravalorado y lo venden cuando el precio de oferta supera su valor fundamental, contribuyendo así al descubrimiento de precios, lo que eventualmente debería reflejar su verdadero valor. Por otro lado, los operadores no informados u operadores de ruido, también conocidos como operadores de liquidez, realizan transacciones por razones distintas a la explotación de información, como la necesidad de suavizar el consumo a lo largo del tiempo, lo que les permite proporcionar liquidez al mercado.

Considerando estos modelos, la reacción asimétrica de la volatilidad, en la que choques positivos generan un mayor aumento en la volatilidad que los choques negativos, sugiere que la actividad de los operadores de ruido predomina tras impactos positivos, mientras que los inversores informados tienden a operar más después de impactos negativos. Baur y Dimpfl (2018) concluyen que el fenómeno del miedo a perderse algo (*fear of missing out*) entre los operadores de ruido, así como la implementación de esquemas de *pump and dump*, son características inherentes a los mercados de criptomonedas. Con base en los argumentos expuestos en esta sección, se plantea la comprobación de las principales hipótesis de investigación:

Hipótesis 1: Los rendimientos de Bitcoin (precio respecto al dólar estadounidense) no son tan volátiles ni riesgosos como comúnmente se perciben.

Hipótesis 2: Existe una relación positiva entre los rendimientos de Bitcoin y el volumen de transacciones.

Hipótesis 3: La volatilidad de Bitcoin y su volumen de transacciones están positivamente relacionados, especialmente en periodos alcistas.

Hipótesis 4: Un aumento inesperado en los rendimientos de Bitcoin incrementa su volatilidad más que una disminución de igual magnitud en fases expansivas, reflejando un efecto de apalancamiento inverso.

La originalidad de este estudio radica en la incorporación del volumen de transacciones como un factor clave para demostrar que la aparente alta volatilidad de Bitcoin se debe, en gran medida, a su bajo volumen de transacciones. Además, se analiza un periodo no abordado en investigaciones previas, dividiendo la muestra en cuatro segmentos temporales significativos, determinados tanto por eventos clave en la historia del mercado de Bitcoin como por la prueba estadística de Bai-Perron (1998) para la detección de múltiples quiebres estructurales. Este enfoque permite realizar un análisis detallado de los efectos asimétricos que caracterizan la volatilidad de Bitcoin.

El presente artículo de investigación se estructura de la siguiente manera: además de esta breve introducción, la primera sección ofrece una revisión de la literatura sobre la relación entre el volumen de transacciones, los rendimientos y la volatilidad de Bitcoin, destacando la importancia de considerar los quiebres estructurales y el efecto de apalancamiento, elementos característicos de este criptoactivo. En la segunda sección, se describe la metodología econométrica, basada en modelos de heterocedasticidad condicional asimétrica, que permiten analizar cómo los impactos diferenciados de buenas y malas noticias afectan la volatilidad de Bitcoin a lo largo del periodo estudiado. La tercera sección expone los resultados empíricos, que respaldan las cuatro hipótesis planteadas en la investigación. Posteriormente, en la cuarta sección, se interpretan los hallazgos y se contrastan con estudios previos de la literatura científica. Finalmente, se presentan las conclusiones principales del estudio.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Bitcoin presenta limitaciones como moneda debido a su extrema volatilidad, lo que dificulta su función como medio de intercambio, unidad de cuenta y reserva de valor (Cermak, 2017). Más que una divisa, se comporta como una inversión especulativa, con una volatilidad superior a la de las monedas tradicionales y otras criptomonedas, lo que refuerza su naturaleza riesgosa y restringe su uso cotidiano (Yermack, 2015; Sapuric *et al.*, 2022). Esta ambigüedad ha llevado a comparaciones con el oro, ya que ambos activos derivan su valor de la escasez y el alto costo de producción, carecen de nacionalidad y no están regulados por gobiernos (Dyhrberg, 2016a, 2016b; Baur *et al.*, 2018; Sapuric *et al.*, 2022). Sin embargo, mientras el oro es ampliamente reconocido como un activo refugio y muestra correlación negativa con el dólar, Bitcoin aún no ha consolidado esta propiedad, lo que genera incertidumbre sobre su rol en los mercados financieros.

Volumen de transacciones y rendimientos del Bitcoin

Las investigaciones sobre los mercados de activos tradicionales indican que un aumento en el volumen de transacciones genera una mayor prima de rendimiento. Se ha identificado que los activos con un volumen inusualmente alto (bajo) tienden a apreciarse (depreciarse) en el mes siguiente (Gervais *et al.*, 2001). Si el volumen de transacciones puede predecir los rendimientos, los operadores podrían utilizar esta información para optimizar sus inversiones. Este hallazgo ha llevado a que investigaciones recientes comiencen a analizar estos patrones en criptomonedas, dada su posible influencia en el diseño de estrategias de trading.

Balcilar *et al.* (2017) demostraron que el volumen de transacciones predice los rendimientos de Bitcoin en mercados alcistas y bajistas, utilizando un enfoque no paramétrico que evita errores por no linealidades y quiebres estructurales. Ante la falta de una metodología de valoración fundamental confiable, los operadores

recurren al análisis técnico. Cagli (2019) confirmó esta relación dinámica mediante pruebas de causalidad de Granger, detectando una causalidad bidireccional en Bitcoin y otras criptomonedas, lo que refuerza el poder predictivo del volumen para estrategias de trading. Gemici y Polat (2019) profundizaron en esta relación al diferenciar efectos de corto y largo plazo con pruebas de cointegración, concluyendo que un aumento en el volumen impulsa el precio de Bitcoin.

Recientemente, Wang y Hui (2024) analizaron la relación entre precio y volumen en los fondos cotizados en bolsa (ETF) de futuros de Bitcoin, una innovación reciente en la inversión en criptomonedas. Utilizando datos de negociación en intervalos de 30 minutos del ETF de futuros de Bitcoin más grande del mundo, encontraron que los cambios en el volumen de transacciones y los rendimientos contienen información mutua, siendo contemporáneamente interdependientes. Los resultados muestran una transferencia de información desde los cambios en el volumen hacia los rendimientos durante la mayor parte del periodo analizado, lo que sugiere la existencia de previsibilidad en los rendimientos e ineficiencia del mercado.

Volumen de transacciones y volatilidad del Bitcoin

Un aspecto importante que los estudios previos no han abordado en profundidad es la influencia del volumen de transacciones en la volatilidad de los rendimientos de Bitcoin. Durante la última década, las fluctuaciones en los precios de Bitcoin han generado periodos de alta volatilidad. De hecho, dado que Bitcoin se utiliza principalmente como un activo financiero en lugar de una moneda (Dyhrberg, 2016a), su mercado es altamente volátil y más susceptible a burbujas especulativas que otras divisas, lo que resalta la importancia de analizar su volatilidad. Estas características limitan su funcionalidad como medio de intercambio, unidad de cuenta y reserva de valor (Baur & Dimpfl, 2018). Sin embargo, cuando se considera el volumen de transacciones, Bitcoin tiende a estabilizarse, lo que puede mejorar los modelos de predicción de su volatilidad y sugiere una fuerte relación entre estas dos variables.

Las investigaciones previas han utilizado diversos modelos de la familia GARCH para analizar la volatilidad de Bitcoin. Dyhrberg (2016a) aplicó un modelo GARCH asimétrico para evaluar las capacidades de cobertura de Bitcoin, demostrando que puede funcionar como hedge frente a las acciones del Financial Times Stock Exchange Index (FTSE) y el dólar estadounidense a corto plazo. En otro estudio, Dyhrberg (2016b) empleó modelos GARCH para analizar el papel de Bitcoin como activo financiero, concluyendo que se sitúa en un punto intermedio entre el oro y el dólar estadounidense. Por su parte, Katsiampa (2017) estimó la volatilidad de Bitcoin comparando distintos modelos GARCH, determinando que el modelo AR-CGARCH ofrecía el mejor ajuste. Finalmente, Cermak (2017) utilizó un modelo GARCH(1,1) para analizar la volatilidad de Bitcoin en relación con variables macroeconómicas en los países con los mayores volúmenes de transacciones.

Posteriormente, Urquhart (2018) analizó los factores clave que han impulsado el valor de Bitcoin, utilizando datos de *Google Trends*. Sus hallazgos indican que la volatilidad histórica y el volumen de transacciones son determinantes en la atención de los inversores al día siguiente. Por su parte, Yu (2019) empleó un modelo GJR-GARCH para analizar la volatilidad de los rendimientos de Bitcoin. Sus resultados sugieren que el volumen de transacciones, utilizado como proxy de las diferencias de opinión entre los usuarios, tiene un impacto significativo en la volatilidad de los rendimientos. En esta misma línea, Aalborg *et al.* (2019) concluyen que Bitcoin pertenece a una clase de activos única, ya que la relación entre su volatilidad y su volumen de transacciones en los mercados de criptomonedas difiere de la observada en mercados de activos tradicionales, como acciones o bonos. Sus resultados muestran una relación positiva y confirman que el volumen de transacciones de Bitcoin mejora las predicciones de su volatilidad.

Quiebres estructurales y efecto apalancamiento en Bitcoin

Los quiebres estructurales son fundamentales en la modelización de series temporales financieras, ya que mejoran la asignación de activos y permiten mitigar pérdidas derivadas de volatilidades extremas, influyendo en las expectativas de los inversionistas y la eficiencia del mercado. Considerar su impacto en la volatilidad futura ayuda a reducir el riesgo y seleccionar modelos más precisos. Mensi *et al.* (2019) advierten que excluir los quiebres estructurales genera un sesgo alcista en la persistencia de la volatilidad, afectando las estrategias de arbitraje y la precisión de la estimación. En esta línea, Telli y Chen (2020) aplican la metodología de Bai-Perron (1998) para identificar múltiples quiebres en criptomonedas como Bitcoin, Ethereum, Litecoin y Ripple, evidenciando cambios estructurales significativos en rendimiento y volatilidad.

Otro aspecto fundamental por considerar es la reacción asimétrica de la volatilidad ante choques inesperados, conocida como “efecto apalancamiento”,² indica que la varianza condicional de los rendimientos accionarios responde con mayor intensidad a noticias negativas que a positivas (Christie, 1982). Estudios recientes han explorado esta dinámica en Bitcoin, evidenciando similitudes con otros activos financieros (Baur *et al.*, 2018; Dyhrberg, 2016a; Bouri *et al.*, 2017). Investigaciones como las de Yu (2019) y De Sousa Filho *et al.* (2020) confirman la presencia de este fenómeno en criptomonedas, mostrando su impacto significativo en la volatilidad futura. No obstante, algunos estudios, como los de Bouri *et al.* (2017), Katsiampa (2017), Baur *et al.* (2018), Charles y Darné (2019), Cheikh *et al.* (2020) y Kao *et al.* (2024), han identificado un “efecto de apalancamiento invertido”, donde los choques positivos generan un mayor incremento en la volatilidad que los negativos, en contraste con los activos financieros tradicionales. Estos hallazgos sugieren que Bitcoin exhibe un comportamiento único en términos de respuesta asimétrica de la volatilidad.

II. METODOLOGÍA ECONOMETRICA

Para evaluar la primera hipótesis, se recopilaron datos diarios del precio de Bitcoin frente al dólar estadounidense, comparándolos con el euro (EUR) y la libra esterlina (GBP), obtenidos de la Reserva Federal de San Luis (FRED) y la plataforma Quandl. El conjunto de datos abarca del 3 de enero de 2017 al 19 de abril de 2024, con un total de 1,822 observaciones.³ Para analizar la volatilidad y el riesgo de Bitcoin, se comparó su evolución frente al dólar con la de otras divisas y el oro, estimando la variación diaria de las tasas de crecimiento de cada activo. Este enfoque metodológico permite cuantificar y contrastar el comportamiento de Bitcoin con el de monedas tradicionales y activos refugio.

$$\text{Rendimiento} = \text{Tasa de cambio} = \frac{(TC_t - tc_{t-1})}{TC_{t-1}} * 100 \quad (1)$$

2. De acuerdo con Bouri *et al.* (2017) existen dos teorías que explican la relación negativa entre el rendimiento y la volatilidad en el mercado accionario. La primera es la hipótesis del apalancamiento, que postula que una disminución en el valor de las acciones de una empresa incrementa su nivel de riesgo, lo que a su vez eleva su volatilidad. La segunda es el efecto de retroalimentación de la volatilidad (*volatility feedback effect*), según el cual un aumento anticipado en la volatilidad eleva la prima de riesgo exigida por los inversionistas, provocando una caída en el precio de las acciones. Este mecanismo da lugar a un fenómeno de volatilidad asimétrica, en el que los cambios negativos en los rendimientos esperados generan un impacto más pronunciado que los cambios positivos.

3. Para asegurar consistencia metodológica y comparabilidad con activos tradicionales, la volatilidad anualizada de Bitcoin se calculó considerando 252 días hábiles, como es estándar en finanzas. Además, se evita el sesgo de estacionalidad asociado a la menor actividad de fines de semana (Aalborg *et al.*, 2019), siguiendo la práctica común en estudios previos (Balcilar *et al.*, 2017; Aalborg *et al.*, 2019; Yu, 2019).

Siguiendo la metodología establecida en los estudios de Yermack (2015) y Sapuric *et al.* (2022), se calcula la volatilidad anualizada (volatilidad histórica) para las tasas de cambio y crecimiento de Bitcoin, el euro, la libra esterlina y el precio del oro. El cálculo inicia con la obtención de la desviación estándar de las tasas de cambio diarias de cada activo, lo que representa su volatilidad diaria. Posteriormente, para estimar la volatilidad anualizada, se aplica la siguiente transformación: dado que un año financiero típico consta de 252 días de mercado, la desviación estándar diaria se multiplica por la raíz cuadrada de 252. Este procedimiento se formaliza en la ecuación (2), donde la volatilidad se ajusta a una escala anual para permitir una comparación efectiva entre activos.

$$\text{Volatilidad Anualizada} = \text{Desviación Estándar} * \sqrt{252} \quad (2)$$

Adicionalmente, con el objetivo de evaluar si la tasa de crecimiento de Bitcoin es menos volátil de lo que tradicionalmente se percibe, se incorpora el volumen de transacciones como variable de ajuste. Para ello, se normaliza la tasa de cambio/crecimiento de Bitcoin dividiéndola por el logaritmo natural del volumen diario de transacciones, lo que permite controlar el impacto del flujo de operaciones sobre la variabilidad del activo. Esta transformación se formaliza en la siguiente ecuación (3), proporcionando una métrica ajustada que permite analizar la volatilidad relativa de Bitcoin en función de su actividad de mercado.

$$\text{Rendimiento Ajustado} = \frac{\text{Tasa de cambio}}{\ln(\text{Volumen de transacciones})} \quad (3)$$

Para analizar la primera hipótesis, que plantea que los rendimientos de Bitcoin presentan una mayor volatilidad en comparación con otras monedas, se emplean las variables previamente definidas. Se realiza un análisis exploratorio mediante la estimación de estadísticas descriptivas. En estas se representan tanto los valores brutos de los rendimientos como los rendimientos ajustados por volumen (expresados en USD). Posteriormente, estos resultados se contrastan con los obtenidos para las monedas seleccionadas. Este enfoque permite una evaluación cuantitativa de las diferencias en volatilidad entre Bitcoin, el oro y otras divisas, proporcionando una base empírica para determinar la magnitud de las fluctuaciones en el mercado de criptomonedas.

En cuanto a la segunda, tercera y cuarta hipótesis, se implementa el modelo GJR-GARCH. Este modelo permite capturar y evaluar la dinámica de la volatilidad condicional. La especificación matemática de los modelos se detalla en las ecuaciones (4) y (5), para la media y la varianza respectivamente. En particular, el modelo GJR-GARCH permite identificar la presencia de efectos asimétricos en la respuesta de la volatilidad ante los choques en los rendimientos, lo cual se mide a través del coeficiente γ . Este parámetro indica si la volatilidad reacciona de manera diferente ante choques positivos y negativos, proporcionando información clave sobre la estructura del riesgo en los activos analizados.

$$r_t = \beta_0 + \beta_1 * \ln(vt)_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i X_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \lambda * \ln(vt)_{t-1} + a_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma u_{t-1}^2 I_{t-1} \quad (5)$$

Donde $I_{t-1} = 1$ si $u_{t-1} < 0$ y 0 en otro caso.

En la ecuación de la media (4), r_t representa los rendimientos de Bitcoin y vt el logaritmo natural volumen de transacciones. A partir de esta especificación, se integran todas las X_t variables relevantes, incluyendo tipos de cambio y precio del oro. La ecuación (5) representa el modelo GJR-GARCH, σ_t^2 representa la volatilidad condicional e introduce el término I_{t-1} , una variable dicótoma que toma el valor de 1 si $u_{t-1} < 0$ y

0 si $u_{t-1} > 0$. Esto significa que, cuando $\gamma > 0$, los impactos negativos tienen un mayor efecto en la volatilidad que los impactos positivos. Finalmente, existen versiones que incorporan distribuciones alternativas, como la distribución *t-student* en lugar de la normal, lo que permite manejar de forma precisa el comportamiento de las colas pesadas.

III. RESULTADOS EMPÍRICOS

Se examinaron las fluctuaciones de Bitcoin utilizando datos diarios desde el 3 de enero de 2017 hasta el 19 de abril de 2024. Para una evaluación más precisa, la muestra de observaciones del precio de Bitcoin se segmentó en cuatro periodos, definidos a partir de tres quiebres estructurales clave en su historial de precios. La identificación de estos quiebres se llevó a cabo mediante la prueba de Bai-Perron (1998), determinando los siguientes puntos de quiebre: 29 de diciembre de 2020, 3 de febrero de 2022 y 8 de marzo de 2023.

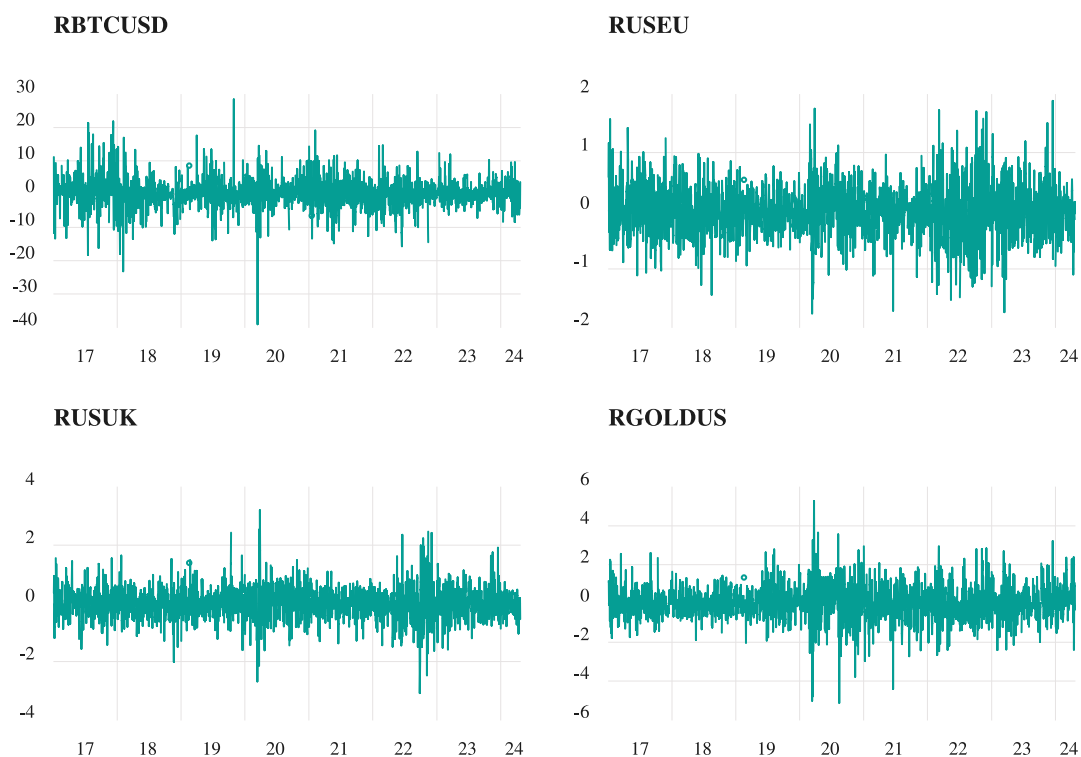
- Primer periodo (Muestra 1: consolidación y maduración): del 3 de enero de 2017 al 29 de diciembre de 2020 (995 días).
- Segundo periodo (Muestra 2: inestabilidad y volatilidad moderada): del 30 de diciembre de 2020 al 3 de febrero de 2022 (274 días).
- Tercer periodo (Muestra 3: criptoinvierno): del 4 de febrero de 2022 al 8 de marzo de 2023 (272 días).
- Cuarto periodo (Muestra 4: recuperación y crecimiento): del 9 de marzo de 2023 al 19 de abril de 2024 (281 días).

Esta segmentación permite analizar de manera detallada la evolución del mercado de Bitcoin en distintas etapas de su desarrollo.

El Bitcoin no es tan riesgoso

Se estimó la tasa de crecimiento porcentual o rendimientos para todos los activos analizados. En la Gráfica 1, se muestra la evolución diaria de la tasa de cambio de Bitcoin frente al dólar estadounidense (RBTCUSD). A lo largo del periodo de análisis, Bitcoin presentó fluctuaciones significativas, siendo más pronunciadas en la primera mitad del intervalo estudiado. Sin embargo, a partir de finales de 2022 y hasta el final del análisis, su rendimiento exhibió una mayor estabilidad, en contraste con otros activos como el euro (RUSEU), la libra esterlina (RUSUK) y el oro (RGOLDUS).

Gráfica 1
Rendimiento diario de Bitcoin, Euro, Libra y Oro: 2017-2024



Fuente: elaboración propia con datos de la FRED (2024) y Quandl (2024).

Para evaluar la estacionariedad de los rendimientos de Bitcoin, el euro, la libra y el oro durante el periodo analizado, se estimaron las pruebas de Dickey-Fuller aumentada (1981) y Phillips-Perron (1988). Los resultados mostraron que las series en niveles presentan una raíz unitaria, con niveles de significancia superiores al 5%, indicando su naturaleza no estacionaria. No obstante, tras calcular la prueba sobre los rendimientos, se observaron niveles de significancia menores al 1%, lo que permitió rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria. Esto confirma que, tras las transformaciones algebraicas, las series de rendimientos son estacionarias en sus distintas especificaciones (sin constante, con constante y con constante y tendencia), lo que las hace adecuadas para el análisis econométrico (Tabla 1).

Tabla 1
Pruebas de estacionariedad Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP)

Series		ADF	p-value	Decisión
Niveles				
BTCUSD	Cte	-0.5806	0.8723	I(1)
	Cte + Tend	-1.6927	0.7544	
	Sin Cte y Tend	0.5866	0.843	

Series		ADF	p-value	Decisión
Niveles				
USEU	Cte	-1.9959	0.2888	I(1)
	Cte + Tend	-2.8063	0.1951	
	Sin Cte y Tend	0.0107	0.686	
USUK	Cte	-2.5089	0.1134	I(1)
	Cte + Tend	-2.8266	0.1877	
	Sin Cte y Tend	-0.0748	0.6577	
GOLDUS	Cte	-0.1961	0.9365	I(1)
	Cte + Tend	-2.1717	0.5046	
	Sin Cte y Tend	1.8429	0.9848	
Rendimientos				
RBTCUSD	Cte	-42.9621	0.0000***	I(0)
	Cte + Tend	-42.9797	0.0000***	
	Sin Cte y Tend	-42.7543	0.0001***	
RUSEU	Cte	-41.0853	0.0000***	I(0)
	Cte + Tend	-41.1004	0.0000***	
	Sin Cte y Tend	-41.0959	0.0000***	
RUSUK	Cte	-41.5783	0.0000***	I(0)
	Cte + Tend	-41.5749	0.0000***	
	Sin Cte y Tend	-41.5892	0.0000***	
RGOLDUS	Cte	-44.0882	0.0001***	I(0)
	Cte + Tend	-44.0799	0.0000***	
	Sin Cte y Tend	-43.9898	0.0001***	

*, **, *** representan la significancia estadística al 10%, 5% y 1% respectivamente

*, **, *** representan la significancia estadística al 10%, 5% y 1% respectivamente

Fuente: elaboración propia con R-project.

En la Tabla 2, se presenta el cambio porcentual promedio de Bitcoin para el periodo completo que corresponde a un 33.30%, una cifra significativamente superior en comparación con las otras monedas y el oro, cuyos promedios son 0.2251%, 0.2256% y 4.37%, respectivamente. Además, Bitcoin registró el rendimiento máximo del 28.5211% dentro del periodo de análisis, mientras que su rendimiento más bajo ocurrió el 13 de marzo de 2020, con una caída del 39.14%. En contraste, las variaciones en el rendimiento de las demás monedas presentan fluctuaciones mucho menores, lo que refleja una menor volatilidad.

Tabla 2
Rendimiento promedio en los tipos de cambio, oro y Bitcoin

<i>Monedas/Oro/BTC</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<i>Euro (RUSEU)</i>	0.002256	1.890114	-1.764184
<i>Libra esterlina (RUSUK)</i>	0.002251	3.204965	-3.088118
<i>Oro (RGOLDUS)</i>	0.043722	5.270749	-5.125948
<i>Bitcoin (RBTCUSD)</i>	0.33304	28.52118	-39.14044

Fuente: elaboración propia con R-project.

Tabla 3
Rendimiento promedio ajustado de Bitcoin

<i>Criptomoneda</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<i>Bitcoin (RBTCUS)*</i>	0.017354	1.463538	-1.94059

* Representa el rendimiento ajustado por el logaritmo natural del volumen de transacciones.

Fuente: elaboración propia con R-project.

Un análisis detallado de los rendimientos de las monedas fiduciarias, el oro y Bitcoin para el periodo completo revela que esta percepción cambia cuando se consideran los ajustes; es decir, tomando la división por el logaritmo del volumen de transacciones (ecuación 3). Como se muestra en la Tabla 3, al aplicar esta corrección, las diferencias en los rendimientos entre Bitcoin y otras monedas se reducen, haciendo que sus fluctuaciones sean menos pronunciadas. Por ejemplo, el rendimiento promedio de Bitcoin sigue siendo superior al de los tipos de cambio, aunque menos de la mitad respecto al rendimiento del oro.

Resultados de los modelos GARCH asimétricos

Antes de la estimación del modelo, se realizaron las pruebas de sesgo en signo y magnitud de Engle-Ng (1993) tanto para la muestra completa como para cada submuestra, con el objetivo de identificar un modelo GARCH asimétrico (Anexo A). Los resultados indican un impacto diferencial de la volatilidad ante choques positivos y negativos, evidenciando que las buenas y malas noticias afectan la volatilidad de manera distinta en el periodo completo y en las cuatro submuestras. Adicionalmente, se seleccionó la distribución más adecuada (normal, *t-Student* o *generalized error*) para evitar sesgos, mejorar la precisión de las estimaciones y capturar leptocurtosis y asimetrías, lo que garantiza la validez de las pruebas estadísticas y la fiabilidad de las predicciones.

Tabla 4
Modelos GJR-GARCH

	<i>Periodos de tiempo</i>				
	<i>Periodo Completo</i>	<i>Consolidación y Maduración</i>	<i>Inestabilidad y Volatilidad Moderada</i>	<i>Criptoinvierno</i>	<i>Recuperación y Crecimiento</i>
	1/04/2017 4/19/2024	1/04/2017 12/29/2020	12/31/2020 2/03/2022	2/07/2022 3/08/2023	3/10/2023 4/19/2024
Ecuación de la media					
$\ln \text{volumen de transacciones}_{t-1} \quad (H2)$	0.013499** (0.0111)	0.019796*** (0.0000)	0.019653 (0.1279)	0.001608 (0.8764)	0.019026** (0.0315)
$rusuk_t$	0.710144*** (0.0000)				
$rgoldus_t$	0.196204* (0.0844)				
Ecuación de la varianza					
α_0	0.94460*** (0.0000)	0.56016*** (0.0000)	0.0730** (0.0363)	0.1890*** (0.0000)	0.62895*** (0.0203)
α_1	0.075526*** (0.0000)	0.084485*** (0.0000)	-0.10175*** (0.0022)		

		Periodos de tiempo				
		Periodo Completo	Consolidación y Maduración	Inestabilidad y Volatilidad Moderada	Criptoinvierno	Recuperación y Crecimiento
		1/04/2017 4/19/2024	1/04/2017 12/29/2020	12/31/2020 2/03/2022	2/07/2022 3/08/2023	3/10/2023 4/19/2024
Ecuación de la varianza						
γ	(H4)	0.139935*** (0.0000)	-0.073246*** (0.0000)	0.08292 (0.2709)	0.119335** (0.0468)	-0.045930* (0.0914)
β_1		0.515312*** (0.0000)	0.292854*** (0.0000)	0.45479* (0.0825)	0.337192*** (0.0000)	0.824798*** (0.0000)
λ	(H3)	1.819506*** (0.0000)	5.308533*** (0.0000)	7.60247*** (0.0349)	7.378779*** (0.0000)	0.852127** (0.0186)
observaciones		1821	994	273	271	280
DW stat		2.0291	2.0101	2.1125	1.8004	2.0248
Arch test		12.9536	5.8977	0.4899	2.6436	4.0819
AIC		5.76576	5.91715	3.9848	5.571609	4.975503
BIC		5.77468	5.946738	3.95289	5.531834	5.04041

*, **, *** representan la significancia estadística al 10%, 5% y 1% respectivamente.

Se empleó la distribución t-student para el modelo completo y las muestras uno y tres; mientras que para la muestra dos y cuatro se utilizó la Distribución Normal.

Fuente: elaboración propia con R-project.

El modelo GJR-GARCH, propuesto por Glosten *et al.* (1993), permite demostrar las tres últimas hipótesis planteadas en la investigación al capturar tanto el impacto del volumen de transacciones en los rendimientos y la volatilidad del Bitcoin, como los efectos asimétricos generados por noticias positivas y negativas. En este sentido, la Hipótesis 2 postula una relación positiva entre el volumen de transacciones y los rendimientos de Bitcoin, lo que puede verificarse mediante el coeficiente β_1 en la ecuación (4). La Hipótesis 3 sugiere que el rezago del logaritmo natural del volumen de transacciones de Bitcoin, λ en la ecuación (5), está positivamente relacionado con la volatilidad, especialmente en periodos alcistas. Por último, la Hipótesis 4 plantea la existencia de un efecto de apalancamiento tradicional o inverso, en el que una disminución (aumento) inesperado en los rendimientos incrementa la volatilidad más que un aumento (disminución) de igual magnitud, lo que queda reflejado en el coeficiente asimétrico γ del modelo de volatilidad.

El modelo GJR-GARCH cumple con las restricciones de estacionariedad débil. Como se muestra en la Tabla 4, los parámetros estimados satisfacen la condición $1 - \alpha_1 - \beta_1 - \frac{1}{2}\gamma > 0$, lo que garantiza la estabilidad del modelo. Se observa que los coeficientes α_1 presentan valores relativamente bajos, mientras que los coeficientes β_1 son elevados, lo que indica la presencia de agrupamiento de volatilidad. Este comportamiento se confirma en la Gráfica 1, donde los periodos de alta volatilidad son seguidos por fases de menor variabilidad, lo que evidencia que las volatilidades tienden a agruparse, un hecho estilizado común en las series de tiempo financieras. Por último, el estadístico Durbin-Watson, con un valor cercano a 2, indica la ausencia de autocorrelación en los residuos del modelo de regresión, lo que sugiere que las estimaciones son robustas y no presentan problemas de dependencia serial.

IV. DISCUSIÓN

Se sabe que los mercados más líquidos tienden a exhibir menor volatilidad, permitiendo que grandes transacciones se realicen sin generar fluctuaciones significativas en los precios. Aunque Bitcoin es conocido por sus picos abruptos y caídas pronunciadas, la incorporación del volumen de transacciones (VBTC) en el análisis proporciona una visión más precisa de su comportamiento real. A través de este enfoque, se comprueba la primera hipótesis de investigación, es decir, el Bitcoin no es tan volátil ni tan riesgoso como comúnmente se percibe. En particular, la baja cantidad de operaciones en los últimos años del periodo de estudio, no puede ser ignorada (Gráfica 2).

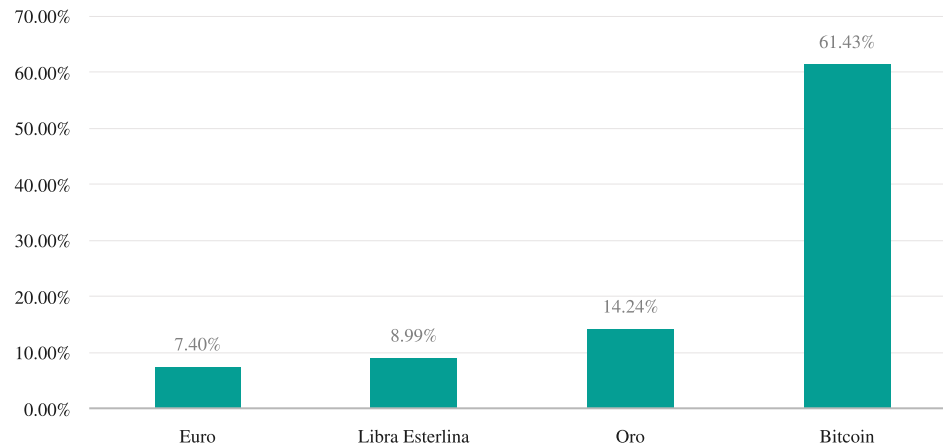
Gráfica 2
Precio y volumen de transacciones de Bitcoin: 2017-2024



Fuente: elaboración propia, con datos de la FRED (2024).

Un bajo volumen de transacciones ha sido un factor determinante en las fluctuaciones del tipo de cambio de Bitcoin, lo que ha llevado a una percepción errónea de su nivel de riesgo. Sin embargo, al ajustar por volumen, se evidencia que el rendimiento de Bitcoin es más estable y que su variabilidad disminuye significativamente, permitiendo una evaluación más precisa y objetiva de su volatilidad en los mercados financieros. Por otro lado, la Gráfica 3 muestra los resultados de la ecuación (2), que representa la volatilidad histórica anualizada del cambio porcentual en las tasas de cambio diarias para el euro, la libra esterlina, el oro y Bitcoin, todas medidas frente al dólar estadounidense a lo largo del periodo de análisis.

Gráfica 3
Volatilidad histórica anualizada de Bitcoin, Euro, Libra Esterlina y Oro: 2017-2024



Fuente: elaboración propia con datos de la FRED (2024) y Quandl (2024).

Los resultados confirman que, aunque Bitcoin sigue siendo el activo más volátil en comparación con el oro y las monedas fiduciarias, con una variación superior al 60%, frente al 7.4% del euro, 8.9% de la libra esterlina y 14.2% del oro, su volatilidad ha disminuido significativamente en los últimos ocho años (2017-2024). En contraste con el periodo analizado por Sapuric *et al.* (2022) (julio de 2010 a noviembre de 2017), se identifica que la volatilidad de Bitcoin pasó de 84.19% a 61.4%, estos hallazgos evidencian una tendencia a la estabilización. Por otro lado, la libra esterlina y el oro han experimentado un aumento en su volatilidad, incrementándose de 8.72% a 8.99% y de 12.09% a 14.24%, respectivamente, mientras que el euro ha mostrado una ligera reducción, descendiendo de 8.72% a 7.39%. Estos resultados sugieren que, si bien Bitcoin continúa siendo el activo con mayor volatilidad, su comportamiento ha evolucionado hacia una mayor estabilidad relativa, mientras que otros activos han mostrado fluctuaciones más acentuadas en el tiempo.

En lo que respecta al modelo de la ecuación de la media, los resultados indican que, para el periodo completo, el coeficiente del logaritmo natural del volumen de transacciones de Bitcoin, rezagado un periodo, presenta una relación positiva y estadísticamente significativa al 5% con los rendimientos del criptoactivo. En términos cuantitativos, un incremento del 1% en el volumen de transacciones genera un aumento del 0.00013% en el rendimiento de Bitcoin, lo que refuerza la existencia de esta relación positiva y confirma el cumplimiento de la segunda hipótesis. Este hallazgo también se sostiene en las muestras uno y cuatro, donde se observa una relación consistente entre el volumen de transacciones y los rendimientos de Bitcoin. Estos resultados coinciden con los estudios de Balcilar *et al.* (2017), Aalborg *et al.* (2019) y Sapuric *et al.* (2022), quienes demostraron que el volumen de transacciones puede predecir los rendimientos diarios del Bitcoin.

En este análisis para la muestra completa, se incorpora el rendimiento de la libra esterlina, una de las principales monedas fiduciarias con alta demanda en los mercados cambiarios globales. Los resultados muestran que el tipo de cambio de la libra esterlina presenta la mayor correlación entre los tipos de cambio analizados, siendo esta positiva y estadísticamente significativa al 1%. En términos cuantitativos, un incremento del 1% en el rendimiento de la libra esterlina se asocia con un aumento del 0.0071% en el precio de Bitcoin. Estos hallazgos son consistentes con el estudio de Dyhrberg (2016a), quien, mediante un modelo GARCH, analizó si Bitcoin comparte características con monedas como el euro y la libra esterlina cuando se incluyen como variables independientes.

En cuanto al rendimiento del oro, los resultados evidencian una asociación positiva entre este activo y Bitcoin a lo largo del periodo analizado. En particular, un incremento del 1% en el rendimiento del oro conduce a un aumento del 0.0019% en el precio de Bitcoin. Estos hallazgos también coinciden con las conclusiones de Dyhrberg (2016a), quien argumenta que Bitcoin, al igual que el oro, puede funcionar como un activo de cobertura parcial frente a fluctuaciones adversas del mercado. Asimismo, los resultados son respaldados por Baur *et al.* (2018), quienes destacan que, en ciertos periodos, Bitcoin y el oro han mostrado comportamientos similares, consolidándose como activos refugio en contextos de incertidumbre económica.

Por su parte, el análisis para la ecuación de la varianza confirma que el logaritmo natural del volumen de transacciones, rezagado un periodo, tiene un impacto positivo y estadísticamente significativo en la volatilidad de Bitcoin, tanto en la muestra completa, como en las cuatro submuestras, validando así la tercera hipótesis. En el periodo completo, se observa que un incremento de un punto porcentual en el volumen de transacciones genera un aumento del 0.0181% en la volatilidad de Bitcoin, con una significancia estadística del 1%. Además, se evidencia que la volatilidad es mayor en periodos alcistas, siendo más pronunciada en la cuarta muestra (fase de recuperación y crecimiento), donde se registra el mayor incremento en la volatilidad del criptoactivo (0.0852%). Estos resultados concuerdan con los estudios de Aalborg *et al.* (2019) y Sapuric *et al.* (2022), quienes destacan el volumen de transacciones como un factor determinante en la predicción de la volatilidad en el mercado de criptomonedas.

El término GARCH asimétrico, utilizado para evaluar la cuarta hipótesis, muestra que el coeficiente de asimetría (γ) es positivo (0.1399) y significativo al 1% en el periodo completo. Esto confirma la presencia de un efecto de apalancamiento, donde los choques negativos generan un mayor impacto en la volatilidad futura de Bitcoin en comparación con los choques positivos de la misma magnitud, un comportamiento típico en activos financieros como acciones y bonos. Estos hallazgos coinciden con los de Yu (2019), quien, mediante datos de alta frecuencia, valida la influencia significativa del efecto de apalancamiento tradicional en la volatilidad de Bitcoin, mejorando la precisión de su modelado. En consecuencia, su incorporación en los modelos de predicción puede mejorar la estimación de la volatilidad y optimizar la gestión del riesgo en los mercados de criptomonedas.

El análisis detallado de los cuatro periodos revela que, en dos de ellos (segunda y tercera muestra), el término de asimetría presenta un signo positivo. En el segundo periodo, caracterizado por inestabilidad y volatilidad moderada, aunque el coeficiente es positivo, no resulta estadísticamente significativo. Mientras que, en el tercer periodo, identificado como criptoinvierno, el coeficiente es positivo (0.119335) y estadísticamente significativo al 5%, lo que sugiere un impacto asimétrico en la volatilidad de Bitcoin. Por otro lado, un hallazgo relevante se observa en el primer y cuarto periodo (consolidación/maduración y recuperación/crecimiento), donde el coeficiente de asimetría (γ) presenta un signo negativo (-0.07324 y -0.04593) y estadísticamente significativo al 1% y 5% respectivamente.

Esta evidencia confirma la presencia de un efecto de apalancamiento inverso durante las fases expansivas del mercado. En estos periodos, un aumento inesperado en los rendimientos provocó un incremento en la volatilidad mayor que una caída inesperada de la misma magnitud. Este hallazgo es consistente con los modelos de microestructura de mercado propuestos por Glosten *et al.* (1993) y Easley *et al.* (1996), en los que se sugiere que la actividad de los operadores no informados (*noise traders*) predomina tras impactos positivos, mientras que los inversores informados tienden a operar con mayor intensidad tras impactos negativos. De acuerdo con Baur y Dimpfl (2018), este fenómeno puede explicarse por el "miedo a perderse algo" (*fear of missing out*), una ansiedad que impulsa a los operadores no informados a adquirir activos de forma impulsiva cuando observan fuertes aumentos de precio, sin realizar un análisis fundamental sólido. Este comportamiento

especulativo suele generar subidas abruptas en el precio, seguidas frecuentemente por fuertes correcciones una vez que la euforia del mercado se disipa.

En esta misma línea de investigación, Baur y Dimpfl (2018) señalan que este efecto invertido se deriva del esquema de "*pump and dump*", el cual representa una estrategia de manipulación del mercado en la que un grupo de inversionistas, generalmente con gran capacidad de capital, eleva artificialmente el precio de un activo (fase de "*pump*"). Para ello, emplean estrategias coordinadas, difunden rumores o generan publicidad engañosa en redes sociales y foros de inversión, con el fin de atraer compradores. Una vez que el precio ha alcanzado un nivel lo suficientemente alto, estos mismos inversionistas liquidan masivamente sus posiciones (fase de "*dump*"), lo que provoca una drástica caída en el precio y deja a los compradores tardíos con pérdidas significativas. Este tipo de manipulación es especialmente frecuente en mercados con baja liquidez o en activos poco regulados, donde la falta de supervisión facilita la explotación de estos esquemas especulativos.

Se debe destacar que la principal fortaleza de la metodología empleada en este estudio radica en la aplicación del modelo GJR-GARCH, el cual permite capturar tanto la volatilidad condicional de Bitcoin como su comportamiento asimétrico ante choques positivos y negativos, un aspecto que modelos tradicionales como el GARCH(1,1) no logran identificar con la misma precisión. Asimismo, la incorporación de la prueba de Bai-Perron (1998) para la detección de quiebres estructurales aporta mayor robustez al análisis temporal, al permitir la adecuada adaptación de los modelos econométricos a los cambios de régimen observados en el mercado. No obstante, se reconoce como limitación que el modelo GJR-GARCH no contempla la existencia de múltiples regímenes dinámicos o cambios abruptos más complejos, los cuales podrían ser modelados mediante enfoques como el Markov-switching GARCH. Finalmente, aunque el volumen de transacciones constituye un ajuste relevante, futuros estudios podrían complementarlo con otras medidas de liquidez o indicadores de profundidad de mercado para lograr un análisis más integral.

CONCLUSIONES

La presente investigación examinó cuatro hipótesis relacionadas con el volumen de transacciones, los rendimientos y la volatilidad de Bitcoin, a partir del análisis de datos financieros recopilados entre enero de 2017 y abril de 2024. Inicialmente, se evaluó el periodo completo para determinar si los rendimientos de Bitcoin son menos volátiles y riesgosos de lo que comúnmente se percibe. Posteriormente, la muestra se segmentó en cuatro periodos consecutivos, definidos por eventos clave en la historia reciente de Bitcoin. Para cada uno de estos periodos, se implementó el modelo asimétrico GJR-GARCH, incorporando el primer rezago del logaritmo natural del volumen de transacciones de Bitcoin, tanto en la ecuación de la media, como en la especificación de la varianza condicional, considerando un enfoque de heterocedasticidad asimétrica.

El primer hallazgo es que, al considerar el volumen de transacciones, se comprueba que la razón por la cual la volatilidad de Bitcoin parecía elevada en estudios previos (Cermak, 2017; Baur y Dimpfl, 2018 y Sapuric *et al.* 2022) se debía al bajo volumen de transacciones. Otro hallazgo importante es que el volumen de transacciones y los rendimientos se encuentran positiva y significativamente relacionados en la muestra completa y en los periodos de consolidación y maduración, así como en el de recuperación y crecimiento. También se pudo demostrar que el volumen de transacciones, rezagado un periodo, y la volatilidad de Bitcoin están positiva y significativamente relacionados en el periodo completo y en cada una de las submuestras.

Respecto a la última hipótesis, se evidencia una respuesta asimétrica en la volatilidad del precio de Bitcoin frente a noticias positivas y negativas. En particular, tanto el periodo completo, como la tercera submuestra, denominada "criptoinvierno", presentan un efecto de apalancamiento tradicional. Este fenómeno, ampliamente

observado en los activos financieros, indica que una caída inesperada en los precios genera un incremento en la volatilidad mayor que un aumento inesperado del mismo tamaño. En otras palabras, las malas noticias tienen un impacto más significativo en la volatilidad que las buenas noticias, lo que refuerza la naturaleza asimétrica del comportamiento del mercado de Bitcoin (Yu, 2019 y De Sousa Filho *et al.*, 2020).

Sin embargo, los resultados para el primero y cuarto periodo señalan un efecto de apalancamiento inverso. Este fenómeno de volatilidad asimétrica contracíclica podría explicarse por el comportamiento de imitación de los inversores no informados durante las alzas de precios (fases expansivas), y la reacción contraria de los inversores informados ante caídas en el mercado. Estos resultados coinciden con estudios previos que sugieren que los inversores minoristas, generalmente considerados como menos sofisticados e informados, tienen una mayor participación en estos mercados. Se concluye que el "miedo a perderse algo" (FOMO) de los *noise traders*, así como la implementación de esquemas de *pump and dump*, son una característica inherente de los mercados de criptomonedas. Asimismo, los resultados coinciden con las investigaciones que analizan la respuesta de la varianza condicional a choques positivos y negativos para evaluar la persistencia de un efecto de apalancamiento inverso en los rendimientos de Bitcoin (Bouri *et al.*, 2017; Katsiampa, 2017; Baur *et al.* 2018; Charles y Darné, 2019; Cheikh *et al.* 2020 y Kao *et al.* 2024).

Los resultados de esta investigación aportan una comprensión más profunda sobre la interacción entre el volumen de transacciones, el rendimiento y la volatilidad de Bitcoin, variables clave tanto para académicos como para profesionales financieros en el análisis y pronóstico del comportamiento de activos. Este conocimiento permite a los inversionistas desarrollar estrategias de cobertura y diversificación de riesgos, optimizando su toma de decisiones. Se enfatiza que los datos analizados corresponden a periodos específicos, reflejando la evolución de Bitcoin en un contexto temporal determinado. Sin embargo, es posible que estos patrones no se repitan en el futuro, ya que el mercado de Bitcoin está en constante evolución y volviéndose más eficiente y estable con el tiempo (Urquhart, 2018). En este sentido, la naturaleza cambiante de las relaciones entre estas variables sugiere la necesidad de segmentar las muestras en distintos periodos de estudio. Por ello, replicar este tipo de análisis en el futuro podría proporcionar una visión más precisa y actualizada sobre la dinámica del mercado de Bitcoin.

REFERENCIAS

- Aalborg, H. A., Molnár, P. y de Vries, J. E. (2019). What can explain the price, volatility and trading volume of Bitcoin? *Finance Research Letters*, 29, 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.08.010>
- 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>
- Balcilar, M., Bouri, E., Gupta, R. y Roubaud, D. (2017). Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach. *Economic Modelling*, 64, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.03.019>
- Baur, D. G. y Dimpfl, T. (2018). Asymmetric volatility in cryptocurrencies. *Economics Letters*, 173, 148-151. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.10.008>
- Baur, D. G., Hong, K. y Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2017.12.004>
- Bouri, E., Azzi, G. y Dyhrberg, A. H., (2017). On the return-volatility relationship in the Bitcoin market around the price crash of 2013. *Economics*. 11(2), 1-16. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2017-2>

- Cagli, E. C. (2019). The Causal Relationship Between Returns and Trading Volume in Cryptocurrency Markets: Recursive Evolving Approach. In: Hacıoglu, U. (eds.) *Blockchain Economics and Financial Market Innovation. Contributions to Economics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25275-5_9
- Cermak, V. (2017). *Can Bitcoin Become a Viable Alternative to Fiat Currencies? An Empirical Analysis of Bitcoin's Volatility Based on a GARCH Model*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2961405>
- Charles, A. y Darné, O. (2019). Volatility estimation for Bitcoin: Replication and robustness. *International Economics*, 157, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.06.004>
- Cheikh, N., Zaied, Y. y Chevallier, J. (2020). Asymmetric volatility in cryptocurrency markets: New evidence from smooth transition GARCH models. *Finance Research Letters*, 35, 101293. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.09.008>
- Christie, A. (1982). The stochastic behavior of common stock variance: Value, leverage, and interest rate effects. *Journal of Financial Economics*, 10(4), 407–432. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(82\)90018-6](https://doi.org/10.1016/0304-405X(82)90018-6)
- Coinmarketcap. (2024). Cryptocurrency market capitalization. *Coinmarketcap*. <https://www.coinmarketcap.com>
- De Sousa, F., Silva, J., Bertella, M. y Brigatti, E. (2020). The leverage effect and other stylized facts displayed by Bitcoin returns. *Brazilian Journal of Physics*, 51, 576–586.
- Dickey, D. A. y Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057–1072. <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Dyhrberg, A. H., (2016a). Bitcoin, gold and the dollar – a garch volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85–92.
- Dyhrberg, A. H., (2016b). Hedging capabilities of Bitcoin. Is it the virtual gold? *Finance Research Letters*, 16, 139–44.
- Easley, D., Kiefer, N. M., O'Hara, M. y Paperman, J. B. (1996). Liquidity, information, and infrequently traded stocks. *The Journal of Finance*, 51(4), 1405–1436. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1996.tb04074.x>
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2024). *Coinbase Bitcoin (CBBTCUSD) [Data set]*. FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. [Retrieved April 25, 2024]. <https://fred.stlouisfed.org/series/CBBTCUSD>
- Gemici, M. y Polat, O. (2019). Re-examining Bitcoin's price–volume relationship: A time-varying approach. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(4), 1–15. <https://www.mdpi.com/1911-8074/16/7/324>
- Gervais, S., Kaniel, R. y Mingelgrin, D. H. (2001). The high-volume return premium. *The Journal of Finance*, 56(3), 877–919. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/0022-1082.00349>
- Glosten, L. R., Jagannathan, R. y Runkle, D. E. (1993). The relationship between expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *The Journal of Finance*, 48(5), 1779–1801. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb05128.x>
- Kao, Y.-S., Zhao, K., Chuang, H.-L. y Ku, Y.-C. (2024). The asymmetric relationships between the Bitcoin futures' return, volatility, and trading volume. *International Review of Economics and Finance*, 89, 524–542. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.07.011>
- Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics Letters*, 158, 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.06.023>
- Phillips, P. C. B. y Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Mensi, W., Lee, Y.-J., Al-Yahyaee, K. H., Sensoy, A. y Yoon, S.-M. (2019). Intraday downward/upward multifractality and long memory in Bitcoin and Ethereum markets: An asymmetric multifractal detrended fluctuation analysis. *Finance Research Letters*, 31(C), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.03.029>

- Quandl. (2024). *Quandl publisher page*. Nasdaq Data Link. [Retrieved April 25, 2024]. <https://data.nasdaq.com/publishers/QDL>
- Sapuric, S., Kokkinaki, A. y Georgiou, I. (2022). "The relationship between Bitcoin returns, volatility and volume: asymmetric GARCH modeling". *Journal of Enterprise Information Management*, 35(6), 1506-1521. <https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2018-0228>
- Telli, Ş. y Chen, H. (2020). Structural breaks and trend awareness-based interaction in crypto markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 558(C), 124927. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124927>
- Urquhart, A. (2018). What causes the attention of Bitcoin? *Economics Letters*, 166, 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.02.017>
- Wang, Y. y Hui, X. (2024). Price-Volume Relationship in Bitcoin Futures ETF Market: An Information Perspective. *International Journal of Financial Studies*, 12(1), 45-67. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2024/8066742>
- Yermack, D. (2015). *Is Bitcoin a Real Currency? An Economic Appraisal*. *Handbook of Digital Currency: Bitcoin, Innovation, Financial Instruments, and Big Data*. Elsevier Inc., pp. 31–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00002-3>
- Yu, M. (2019). Forecasting Bitcoin volatility: The role of leverage effect and uncertainty. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 533, 120707. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.03.072>

ANEXO

Pruebas de sesgo en signo y magnitud de Engle-Ng, (1993)

	Periodo Completo	Consolidación y Maduración	Inestabilidad y Volatilidad Moderada	Criptoinvierno	Recuperación y Crecimiento
	1/04/2017 4/19/2024	1/04/2017 12/29/2020	12/31/2020 2/03/2022	2/07/2022 3/08/2023	3/10/2023 4/19/2024
$\varnothing_0$	16.0447 (0.0000)***	18.3406 (0.0001)***	0.0053 (0.0003)***	15.2856 (0.0003)***	6.7239 (0.0020)***
$\varnothing_1 S_{t-1}^-$	1.5970 (0.6747)	5.3597 (0.3945)	-0.9077 (0.9095)	-7.3168 (0.1934)	-2.5710 (0.3892)
$\varnothing_2 S_{t-1}^- * \hat{\varepsilon}_{t-1}$	-1.5107 (0.0111)**	-0.9634 (0.2889)	-1.2078 (0.2841)	-3.1094 (0.0010)***	-1.809 (0.0202)**
$\varnothing_3 S_{t-1}^+ * \hat{\varepsilon}_{t-1}$	1.1227 (0.0534)*	1.1796 (0.1815)	0.5606 (0.6279)	-0.4541 (0.6643)	1.5821 (0.0137)**

Fuente: elaboración propia con R-project.

Relación entre crecimiento económico y consumo de energéticos en América del Norte

Relationship between economic growth and energy consumption in North America

Francisco Antonio Martínez Hernández* y Saúl Herrera Aguilar**

*Profesor Investigador en el Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana.
Correo electrónico: famh@azc.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1702-2682>

**Profesor Investigador en la Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México.
Correo electrónico: saulh@economia.unam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0936-0085>

RESUMEN

Este trabajo analiza la relación teórica y empírica entre el crecimiento económico y el consumo de energéticos para las tres economías de América del Norte: México, Estados Unidos y Canadá. Para este objetivo se estiman inicialmente las elasticidades ingreso y demanda de importaciones de energéticos de largo plazo para cada país. Posteriormente, se contrasta y analiza el valor de estas elasticidades (presión de intensidad energética) con la producción primaria y demanda nacional de energía en el tiempo. Finalmente, se analiza a través de una matriz de flujos de energía la relación entre las fuentes y usos de energía por sectores. Con base en estos resultados, encontramos que existe una creciente asimetría entre disponibilidad y demanda final de energía que afecta al crecimiento del país menos desarrollado, México.

ABSTRACT

This paper analyzes the theoretical and empirical relationship between economic growth and energy consumption for the three economies of North America: Mexico, the United States and Canada. To this aim, the long-term income and demand elasticities for energy imports are initially estimated for each country. Subsequently, the values of these elasticities (energy intensity pressure) are evaluated and compared with primary production and national energy demand over time. Finally, the relationship between energy sources and sectoral uses is analyzed through a matrix of energy flows. Based on these results we find that there is a growing asymmetry between availability and final demand of energy that affects the growth of the least developed country, Mexico.

Recibido: 04/junio/2025

Aceptado: 04/junio/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Crecimiento económico |
| Consumo |
| Energía |
| Norteamérica |

Keywords:

| Economic growth |
| Consumption |
| Energy |
| North America |

Clasificación JEL | JEL Classification |

O47, O57, P18,
Q43, R58, C32

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios como disciplina científica, la economía abordó la relación entre el proceso de crecimiento económico y los recursos naturales, en parte como determinante, o bien como condicionante de dicho proceso. Partiendo desde la escuela fisiócrata, François Quesnay en su *Tableau Economique* de 1758 (Kuczinski, 1980) consideraba que la tierra era la única entidad capaz de generar riqueza ya que para él en la agricultura el producto neto excedente multiplicaba el *input* original. Por lo tanto, para este economista fisiocrático, el resto de las actividades tenían un papel secundario, ya que sólo transformaban la producción



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

original sin crear más riqueza. La organización social debía entonces priorizar a la clase productiva relacionada con las actividades primarias, y limitar a la clase estéril (Kuczinski, 1980).

Más adelante, la corriente clásica identificó como la fuente original de riqueza al trabajo; por lo tanto, el crecimiento se origina en el excedente de valor generado por el trabajo humano y dicho excedente facilita los procesos de acumulación de capital. En este sentido la teoría del valor-trabajo fue la piedra angular de los estudios de Smith y Ricardo, este último autor, junto con Malthus, consideraron que existía un límite al crecimiento, por la disponibilidad limitada de recursos naturales, en particular la tierra productora de alimentos, en comparación con el crecimiento de la población (Hunt & Lautzenheiser, 2011).

A pesar de incluir los recursos naturales en las primeras funciones de producción, con el aumento de la productividad derivada de la innovación tecnológica, estos pasaron a un papel secundario como condicionantes del crecimiento económico. Sin embargo, la revolución industrial incrementó drásticamente el consumo de energía al mecanizar procesos y concentrar la actividad económica en zonas urbanas densamente pobladas. Karl Marx analiza esto como acumulación originaria, donde la separación entre la propiedad de los medios de producción y la fuerza de trabajo hace que el crecimiento dependa de la generación de plusvalía en la gran industria y su concreción en la producción, circulación y acumulación de capital (Hunt & Lautzenheiser, 2011), sin considerar explícitamente el papel de la energía.

En el último tercio del siglo XIX los marginalistas analizan la relación entre recursos y crecimiento bajo el principio rector de la escasez; William Stanley Jevons en *La Cuestión del Carbón* de 1865 (Jevons, 1981) afirmó que a pesar de que la innovación hacía más eficiente el uso de recursos como la energía, en realidad la generalización de las tecnologías impulsaba una presión sobre el consumo de la fuente energética dominante, por ejemplo el carbón; por ello, los precios del mismo se disparaban en función de la escasez relativa (efecto rebote).

El progreso tecnológico impulsó procesos productivos más eficientes a finales del siglo XIX. Con la invención del motor de combustión interna, el uso de hidrocarburos se intensificó en el siglo XX, consolidando la relación entre producción, consumo de energía y crecimiento económico. No obstante, la teoría neoclásica del crecimiento (Solow, 1956) priorizó la relación capital-trabajo sin considerar que los recursos naturales, especialmente la energía, pueden ser una restricción. La crisis económica, ambiental y energética de los años setenta obligó a replantear esta visión. El estudio *Los límites al crecimiento* (1971) y Georgescu-Roegen (1971) destacaron las restricciones energéticas desde una perspectiva sostenible, y el propio Solow (1976) revisó su modelo al reconocer a la energía como capital no reproducible, proponiendo reducir su consumo por unidad producida para lograr sendas estables de crecimiento.

Los recursos energéticos son hoy un elemento clave en el crecimiento de las economías nacionales. La globalización disparó la movilidad de materias primas, el comercio de productos semi procesados y finales, y el capital que busca áreas de inversión con alto retorno en sectores antes restringidos por regulaciones nacionales, como el energético. Esto genera una disyuntiva entre autosuficiencia y eficiencia en las políticas energéticas nacionales, en un mercado dominado por grandes corporativos que buscan asegurar abastecimiento, acaparar mercados y monopolizar la innovación y generación de fuentes alternativas.

Las condiciones de producción y consumo de energía varían según el tipo y grado de desarrollo de las economías. Grossman y Krueger (1991) plantearon que los cambios en la matriz energética pueden derivar de procesos de transferencia tecnológica impulsados por la integración regional, ampliando la hipótesis de la Cuva de Kuznets al ámbito ambiental: a largo plazo, un mayor ingreso *per cápita* tendería a mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO₂. Aunque las economías avanzadas han transitado hacia fuentes renovables gracias a su capacidad de innovación y gasto en I+D, la evidencia muestra que las de mayor ingreso

continúan generando la mayoría de las emisiones (IEA, 2024), cuestionando la validez de la Curva de Kuznets ambiental (Stern, 2004; Dasgupta, 2002; Dinda, 2004; Jorgenson, 2007; Sarkodie & Strezov, 2019).

Dejando de lado la validez de la Curva de Kuznets ambiental y enfocándose en la relación entre consumo de energía y crecimiento, las economías emergentes y rezagadas presentan diferencias importantes respecto a las avanzadas, tanto en la estructura como en el funcionamiento de sus mercados energéticos. Sus modelos dependen fuertemente de fuentes no renovables y tienen limitada capacidad para invertir en investigación y desarrollo, lo que las hace dependientes tecnológica y financieramente del exterior. Estas economías requieren grandes cantidades de energía para sostener un crecimiento acelerado y alcanzar mayores niveles de desarrollo.

En este contexto, México enfrenta un desafío importante: con una disponibilidad cada vez más limitada de fuentes fósil¹, requiere mayor eficiencia en la transformación de energía primaria a secundaria, así como una mayor inversión para llevar a cabo una transición ordenada hacia fuentes renovables. Estas deben garantizar a mediano y largo plazo una oferta suficiente para satisfacer la creciente demanda derivada del crecimiento económico. De no cumplirse, el país permanecerá dependiente de la importación de energéticos.

Por razones geográficas y económicas, el vínculo con Estados Unidos representa un elemento ambivalente en el crecimiento y desarrollo de México. En las últimas 3 décadas (1994-2024) se profundizó la interdependencia comercial, financiera y energética, impulsada por acuerdos que establecieron un área de libre comercio con participación de Canadá. La asimetría económica entre los tres países se refleja en la capacidad para definir reglas comerciales y de inversión, así como en la distribución de los beneficios derivados del acceso a mercados más abiertos.

En los últimos treinta años, el crecimiento promedio anual del PIB en México fue de apenas 1.8%, cifra cercana a la de Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, este ritmo no basta para cerrar las brechas con sus vecinos del norte, ni para garantizar mayores niveles de empleo, ingresos y bienestar a una población en constante crecimiento. Puede afirmarse que, entre los factores que explican la baja capacidad de crecimiento de la economía mexicana en los últimos treinta años, se encuentran: a) la ruptura de los encadenamientos entre la manufactura de exportación y el resto de los sectores productivos (Ros y Moreno, 2010); b) la escasez relativa de recursos para fortalecer la planta productiva orientada al mercado interno; c) la debilidad de la política económica, derivada de la insuficiencia de recursos fiscales frente a necesidades de gasto social e inversión; y d) la fragilidad financiera.

Frente a estas restricciones, la disponibilidad y el consumo de energía cumplen un papel dual: por un lado, generan divisas al concentrarse en la exportación de hidrocarburos; por otro, provocan alta dependencia de productos procesados, como gasolinas y otros petrolíferos utilizados para el transporte de mercancías y personas, así como del gas natural, que sostiene gran parte de la producción de energía secundaria (eléctrica) necesaria para la industria, el comercio y los hogares.

La relación asimétrica en los acuerdos comerciales regionales –el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y el actual Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC)– implica un reparto desigual de beneficios entre las tres economías. Además, la evolución del sector energético como facilitador del crecimiento económico muestra marcadas diferencias entre los tres países. En México, el sector está limitado por la incapacidad de cubrir el consumo nacional con producción interna; Estados

1. De acuerdo al Reporte de Reservas (junio 2024) de la Comisión Nacional de Hidrocarburos, las reservas probadas (1P) alcanzan los 8 mil millones de barriles, mientras que la plataforma de explotación es de 1.8 millones diarios, lo que resulta en un espectro de producción de 12 años, ello sin considerar la tasa de restitución donde las reservas probables (7 mil millones de barriles) puedan compensar la explotación de las probadas (CNH, 2024).

Estados Unidos incrementó su producción primaria y redujo su dependencia energética en la última década, mientras que Canadá mantiene un amplio superávit energético gracias a sus reservas y a un menor consumo, al ser el país menos poblado de la región.

Por lo anterior, esta investigación analiza la relación entre la producción y el consumo de energía, y el crecimiento económico en las tres economías de América del Norte. Se parte de la hipótesis de que tanto Estados Unidos como Canadá se beneficiaron del proceso de integración comercial, al fortalecerse su producción primaria, estabilizarse su demanda energética y mejorar su eficiencia. Como resultado, presentan una menor elasticidad ingreso de la demanda de energéticos, lo que ha mejorado su posición comercial. En contraste, en México la producción primaria se debilitó, la demanda energética muestra una mayor elasticidad ingreso, y esto condiciona el crecimiento y aumenta la dependencia de energía importada.

Para comprobar el planteamiento anterior, esta investigación se organiza de la siguiente manera: la primera sección revisa la literatura sobre la relación entre producción y consumo de energía, y crecimiento económico. La segunda presenta los cálculos de las elasticidades ingreso y de demanda de importaciones energéticas de largo plazo para cada país. La tercera analiza la relación entre el valor de estas elasticidades (presión de intensidad energética) y la producción primaria de energía. La cuarta estudia la relación entre el Consumo Nacional Aparente (en adelante, CNA) y la demanda final mediante una matriz de flujo de energía por país, lo que permite identificar los vínculos entre fuentes primarias, producción secundaria y estructura del consumo en transporte, unidades productivas y hogares, así como el papel de las energías renovables en los últimos años. Finalmente, se presentan las conclusiones.

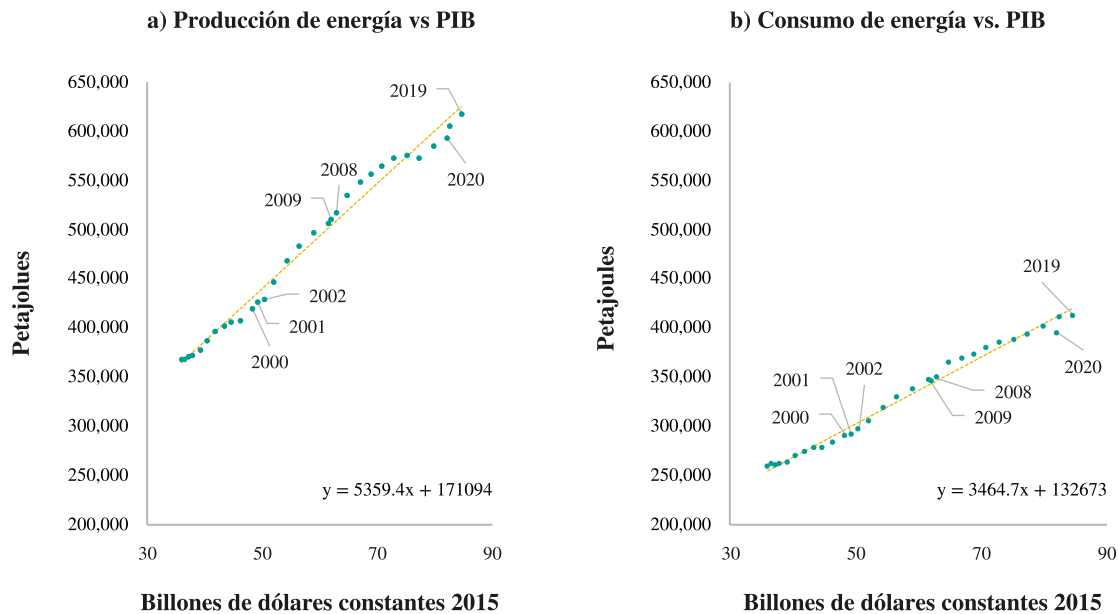
I. REVISIÓN DE LITERATURA

La demanda de bienes energéticos

La producción de energía es un área estratégica para cualquier economía, ya que se trata de un insumo básico para todas las actividades económicas. En este sentido, la disponibilidad de energía condiciona el nivel general de actividad económica y ésta, a su vez, determina la demanda, que se satisface con la producción primaria de energía más las importaciones y menos las exportaciones energéticas; es decir, el CNA.

Considerando la evidencia empírica a nivel mundial durante las últimas tres décadas, es posible afirmar que existe una fuerte correlación entre la producción y la demanda aparente de energía (medidas en petajoules, pt) con el nivel de actividad económica (medido por el Producto Interno Bruto, PIB, a valores constantes). Así lo demuestran los tres últimos grandes ciclos recesivos de la economía mundial: la crisis de las empresas punto com, la crisis *subprime* y la crisis de la COVID-19, durante los cuales, tanto la producción como la demanda de energéticos se ajustaron al nivel de actividad económica, registrando retrocesos importantes en los períodos 2008-2009 y 2019-2020 (ver Gráfica 1).

Gráfica 1
Mundo. Correlación entre producción y consumo de energía contra el PIB 1990-2020



Fuente: elaboración propia con datos de International Energy Agency (2022) y Banco Mundial (2024).

Como se planteó en la introducción, la relación entre energía y crecimiento económico fue reposicionada en las discusiones e investigaciones económicas desde los años setenta del siglo XX, ante la necesidad de explicar la combinación de crisis económica, energética y ambiental. El Massachusetts Institute of Technology (MIT) y el Club de Roma publicaron *Los Límites al Crecimiento* (1971) (Meadows y Meadows, 1992: 19), donde se destacó que el alto consumo de energía fósil genera un efecto invernadero que eleva la temperatura global, por lo que es necesario desarrollar alternativas. En este mismo sentido, el trabajo seminal de Georgescu-Roegen (1971) reescribe la función de producción neoclásica incorporando los flujos de energía como insumos, y analiza, con base en las leyes de la termodinámica, el desorden sistémico derivado de la producción y el consumo de recursos energéticos (entropía).

Stern y Cleveland (2004) consideran la energía como un insumo primario único y exógeno, y propone modelar su relación con el crecimiento económico mediante un esquema insumo-producto. La corriente neoricardiana (O'Connor, 1993) sostiene, en cambio, que el capital determina proporciones fijas en la producción, sin distinguir entre insumos primarios y secundarios. Por su parte, Solow (1976) plantea que los recursos no renovables pueden sustituirse por capital si la suma de sus elasticidades es igual a uno. Hartwick (1977) amplía este enfoque al mostrar que la reinversión de las rentas de recursos no renovables en tecnología puede garantizar una senda sustentable de crecimiento al sustituir progresivamente dicho recurso por otro.

Considerando que los enfoques clásicos y neoclásicos afirman que existe una relación positiva entre consumo y producción de energía y crecimiento económico, y que la capacidad para mantener sendas crecientes y sustentables de actividad económica está condicionada por la disponibilidad de recursos, al avance tecnológico que determina la eficiencia, y al grado de sustitución entre distintas fuentes de energía, resulta fundamental comprender el sentido de dicha relación.

Zilberfarb y Adams (1981) señalan que no existe un patrón único entre ingreso y consumo de energía, pues a mayor ingreso *per cápita*, el consumo tiende a aumentar al tener elasticidad superior a uno. Medlock y Soglino (2001), citados por Csereklyei *et al.* (2016), encuentran una relación en forma de “U” invertida entre consumo de energía y nivel de ingreso (ambos *per cápita*), donde a medida que aumenta el ingreso, el comercio y la industria reducen su participación en el consumo energético, mientras el transporte la incrementa. Lescaroux (2011) y Jakob *et al.* (2012) confirman esta tendencia e incorporan a los hogares y al sector servicios como actores clave en dicho consumo.

Ayres y Voudouris (2014) señalan que la producción de energía difiere de la de bienes de consumo, pues responde tanto a la demanda actual, como de la actividad económica futura (anticipada). No existe consenso sobre la dirección ni la intensidad del vínculo entre consumo energético y crecimiento económico. Wolde-Rufael (2009) identifica cuatro hipótesis: (i) el consumo de energía impulsa el crecimiento económico; (ii) el crecimiento económico aumenta el consumo de energía; (iii) la relación es bidireccional; y (iv) ambos son independientes (Acheampong *et al.*, 2021).

Shahbaz *et al.* (2017) destaca que la disponibilidad de recursos, la capacidad de explotación, el avance tecnológico y las políticas gubernamentales influyen en la producción, demanda y consumo de energía. Akinlo (2008) observa que la investigación sobre la relación entre crecimiento y consumo energético se ha concentrado en economías desarrolladas, sin resultados concluyentes. Caraballo y García (2017) señala que estos países han transitado del uso intensivo de combustibles fósiles hacia fuentes renovables más eficientes. Acheampong *et al.* (2021) agregan que el crecimiento económico sostenido induce cambios cualitativos en el consumo, con mayor uso de bienes tecnológicos y procesos energéticos más eficientes.

En síntesis, los bienes energéticos tienen una demanda derivada y su relación con el crecimiento económico e ingreso es bidireccional, generando una retroalimentación entre producción y comercio de energía. Estudios de largo plazo (Acheampong *et al.*, 2021) muestran que el crecimiento sostenido induce cambios cualitativos en los patrones de consumo, orientándolos hacia un uso más intensivo de bienes tecnológicos, incrementando la demanda de energía y promoviendo mayor eficiencia productiva. Es en este punto cuando las economías comienzan a evolucionar hacia procesos más eficientes para la producción energética (Shahbaz *et al.*, 2017).

II. MODELOS ECONÓMICOS

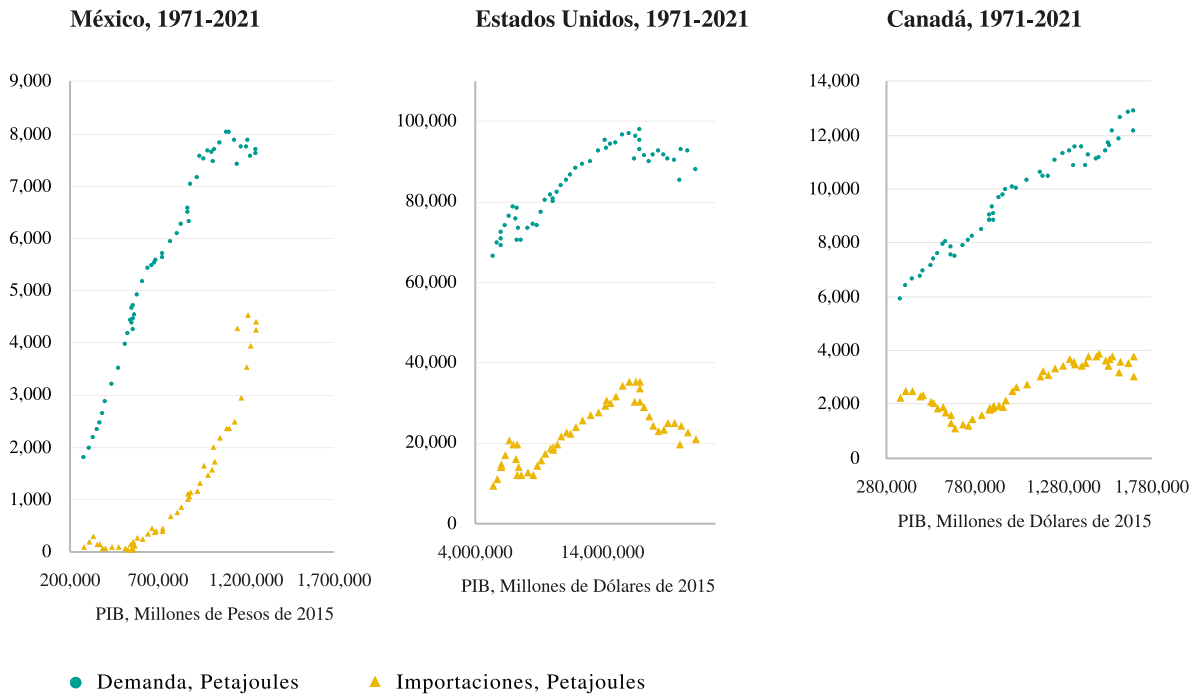
Estimación de elasticidades de largo plazo

El propósito de esta sección es estimar los cambios en la demanda e importaciones de energía ante variaciones del ingreso en las tres economías de América del Norte. Se aplican modelos de cointegración mediante la metodología de Johansen para obtener las elasticidades ingreso de la demanda interna y de las importaciones a largo plazo. Estos resultados servirán como parámetros de referencia para evaluar el grado de dependencia energética de los países del T-MEC. Se parte de la hipótesis de que dichas elasticidades son menores en Estados Unidos y Canadá que en México, reflejando su mayor nivel de desarrollo.

Para este fin, se analiza la tendencia de largo plazo en la demanda e importación de energía de las tres economías, como se muestra en la Gráfica 2. En ellas se observa que ambas series, para cada país, presentan una tendencia creciente conforme aumenta el PIB real. Esta relación es particularmente notable en el caso del nivel de importaciones de energía en la economía mexicana. Desde el punto de

vista econométrico, una serie con tendencia creciente se considera un proceso estocástico no estacionario; es decir, integrado de orden uno, $I(1)$, mientras que una serie sin tendencia temporal corresponde a un proceso estacionario, $I(0)$.

Gráfica 2
Demanda de energía vs PIB



Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Energía (México) y US Energy Administration (USA) y de Statcan (Canadá).

Las pruebas de raíces unitarias (ADF, PP y KPSS) indican que todas las series son no estacionarias e integradas de orden uno, $I(1)$. Este resultado se cumple incluso para la serie de las importaciones de energía de Estados Unidos, la cual presenta un cambio estructural a partir de 2007, reflejando un proceso creciente de independencia energética (véase la Gráfica 3 y la prueba ADF con quiebre estructural en el Anexo). Dado que todas las series son $I(1)$, se especificaron dos modelos –uno para la demanda y otro para las importaciones– para cada país, según las ecuaciones 1 y 2.

En la ecuación 1, la variable dependiente $\log Demanda$ representa el logaritmo de la demanda de energía, medida en petajoules (pt). En ambas ecuaciones, 1 y 2, la variable independiente $\log PIB$ corresponde al logaritmo del PIB real. En la ecuación 2, la variable dependiente $\log Importaciones$ denota el logaritmo de las importaciones de energía, también en petajoules. Tras el análisis de raíces unitarias, se estimaron los parámetros de ambas ecuaciones mediante la metodología de cointegración de Johansen, la cual permite identificar la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables.

$$\log Demanda_t = \beta_1 + \beta_2 \log PIB_t + u_{1t} \quad (1)$$

$$\log Importaciones_t = \gamma_1 + \gamma_2 \log PIB_t + u_{2t} \quad (2)$$

Los resultados estimados para ambas ecuaciones se presentan en los Cuadros 1 y 2. Donde se confirman la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre el logaritmo de la demanda de energía y el logaritmo del PIB, así como entre el logaritmo de las importaciones de energía y el logaritmo del PIB. El grado de asociación, o elasticidad, está representado por los parámetros β y γ : β indica el porcentaje de variación en la demanda de energía ante un aumento de 1% en el PIB, mientras γ mide el cambio porcentual en las importaciones de energía frente a la misma variación del PIB. En el Anexo se incluyen las pruebas estadísticas que respaldan la validez de las estimaciones y los resultados completos de las pruebas de raíces unitarias. Las variables *dummy* se incorporaron solo para corregir heteroscedasticidad, no para obtener un vector de cointegración.

Cuadro 1
Elasticidades Ingreso (demanda de energía)

País	Variable dependiente y periodo	Coefficiente de largo plazo β (t-ratio)	# de rezagos	Variable dummy
Estados Unidos de América	Log(Demanda) 1976-2021	0.62 (43)	4	D2009, D2020
México	Log(Demanda) 1975-2021	0.72 (7)	3	N.D.
Canadá	Log(Demanda) 1975-2021	0.49 (19)	3	D2009, D2020

Fuente: elaboración propia.

Los resultados econométricos del Cuadro 1 muestran que, en las últimas décadas, México y Estados Unidos presentan una alta elasticidad en su demanda de energía, mientras que Canadá exhibe una mayor eficiencia energética. En este país, un incremento del 1% en el PIB eleva la demanda de energía en solo 0.49%, frente al 0.72% y 0.62% observados en México y Estados Unidos, respectivamente.

Estos resultados se explican, en parte, por las particularidades productivas y energéticas de cada país. Desde la década de 1980, México ha sido un exportador neto de petróleo, lo que ha favorecido una estructura productiva con alta dependencia energética. En cambio, Canadá consolidó desde los años noventa su papel como exportador neto de gas natural y otras materias primas, impulsado una mayor eficiencia energética. Por su parte, Estados Unidos alcanzó la autosuficiencia energética en 2018 gracias al *fracking*, lo que incrementó su intensidad energética y redujo su dependencia de las importaciones, especialmente de petróleo.

Cuadro 2
Elasticidades Ingreso (demanda de importaciones)

País	Variable dependiente y periodo	Coefficiente de largo plazo γ (t-ratio)	# de rezagos	Variable dummy
Estados Unidos de América	Log(Importaciones) 1976-2021	0.71 (40)	4	D1986, D2009 D2020
México	Log(Importaciones) 1986-2021	0.75 (23)	3	D1995, D2009 D2020
Canadá	Log(Importaciones) 1985-2021	0.37 (7.5)	3	D1991, D2009 D2020

Fuente: elaboración propia.

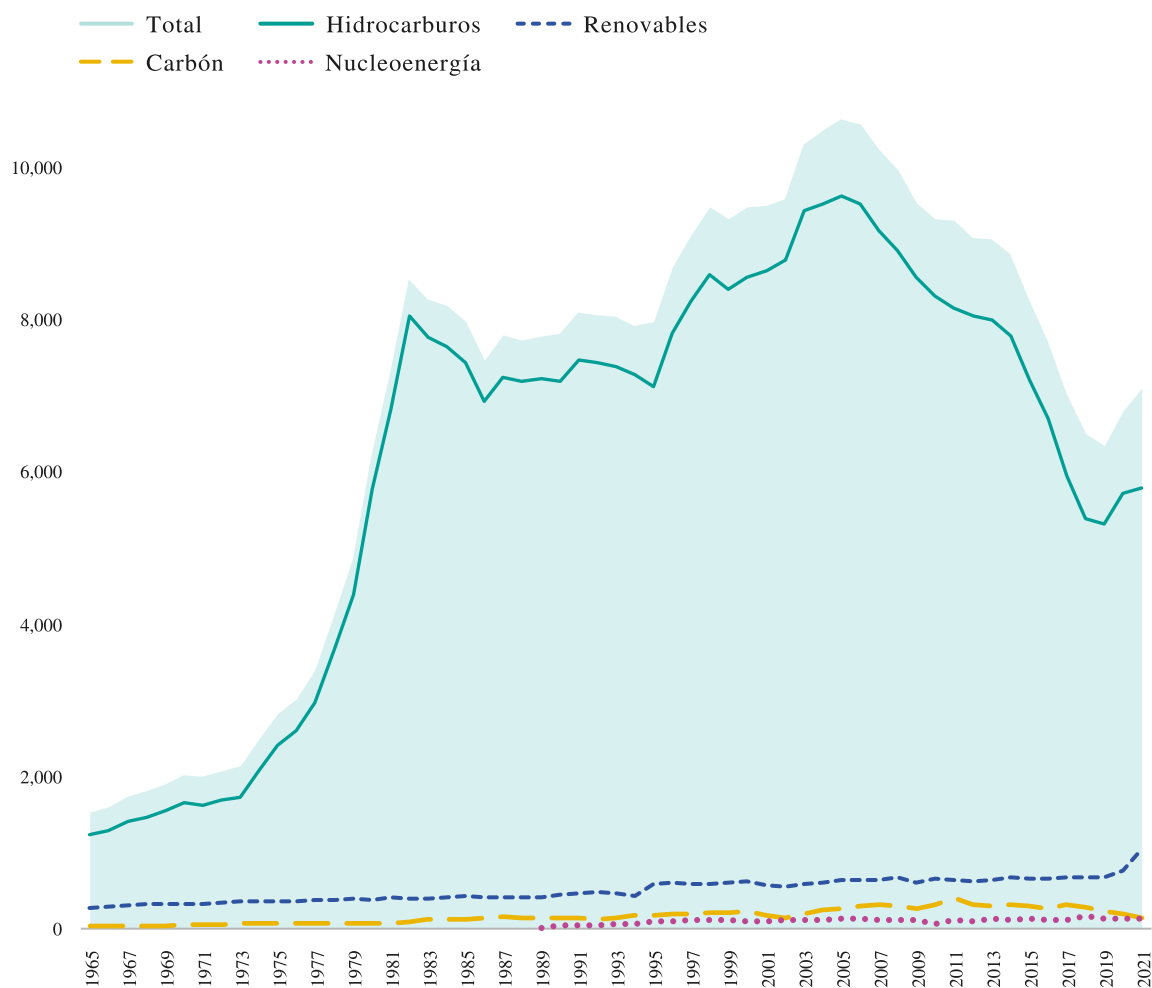
En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la elasticidad ingreso de la demanda de importaciones (EIDM) para las tres economías analizadas. Los resultados indican que, ante un aumento del 1% en el PIB, México aumenta sus importaciones de energía en 0.75%, un valor elevado asociado principalmente al crecimiento en las importaciones de gasolinas. Un comportamiento similar en la elasticidad se observa en Estados Unidos, con una EIDM de 0.71%. En contraste, Canadá muestra la menor elasticidad (0.37%), lo que sugiere una menor dependencia del crecimiento económico respecto a las importaciones energéticas.

III. LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA EN AMÉRICA DEL NORTE

Una vez identificadas las diferencias en las elasticidades de largo plazo entre el crecimiento económico y la demanda de energía para los países del T-MEC, se procede a analizar las diferencias en las condiciones de producción y demanda energética. Este análisis se sustenta en la estructura de la matriz de energía primaria (sección III), así como en el CNA y en las fuentes y usos de la energía (sección IV), con especial atención a los cambios ocurridos desde la apertura comercial de la década de 1990. El análisis comparativo se presenta en el siguiente orden: primero México, seguido de Canadá y Estados Unidos. Este orden se mantiene en la sección IV.

Históricamente la base de la producción de energía en México han sido los hidrocarburos, mismos que representaron en promedio el 88.3% del total de la oferta energética primaria entre 1965 y 2021, con 64.0% de petróleo crudo y 23.3% de gas natural. La segunda fuente en importancia son las energías renovables, que contribuyeron en promedio con 8.8%, destacando la leña (4.6%) y, en menor medida, la energía geotérmica e hidroeléctrica (3.1%). Aunque la leña se clasifica como renovable, su uso no puede considerarse sustentable debido a las emisiones de CO₂ generadas por su combustión (ver Gráfica 3).

Gráfica 3
México. Producción de energía primaria (petajoules), 1960-2021

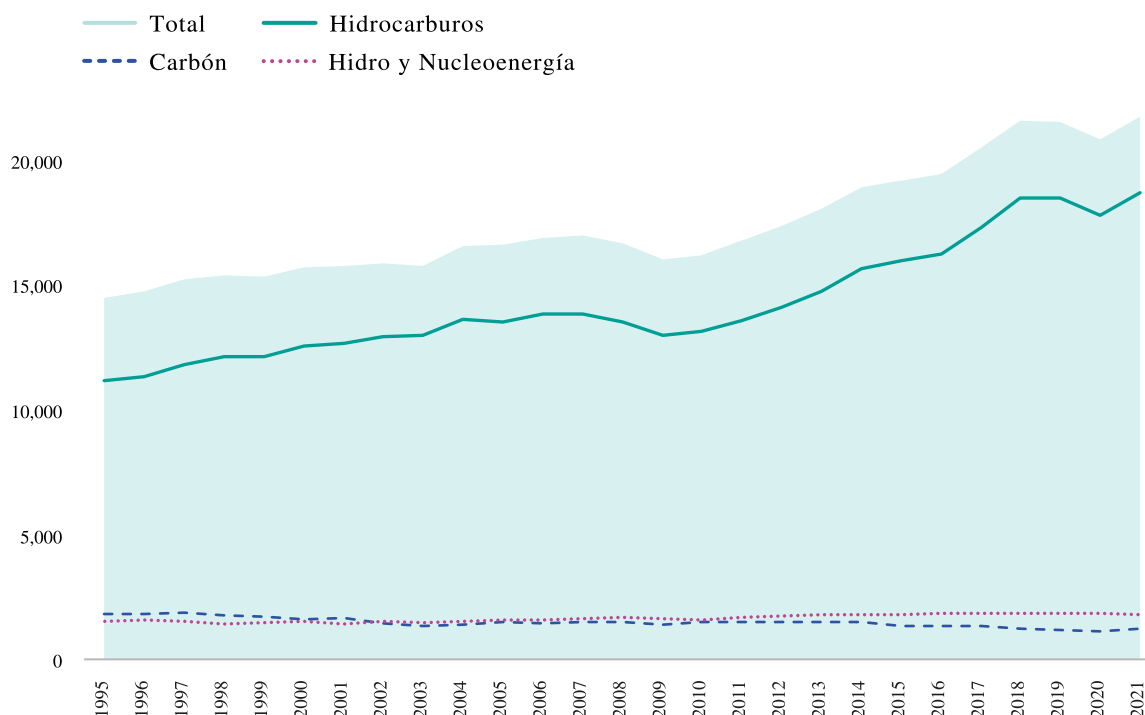


Fuente: elaboración propia con datos de Secretaría de Energía (Sener), SIE.

La evolución del sector energético en México evidencia una de sus principales problemáticas estructurales: la alta dependencia del petróleo y la escasa diversificación de fuentes renovables. A partir de 1976 se registra un fuerte incremento en la capacidad de producción, impulsado por la explotación de los campos petroleros de la Sonda de Campeche. Esta expansión elevó la producción de cerca de 2 000 petajoules (pt) a un máximo de 10 600 (pt) en 2005; sin embargo, desde ese año se observa un declive sostenido, que alcanzó los 6 500 pt en 2018, debido al agotamiento de dichos yacimientos.

Esta caída no fue compensada por un aumento significativo en otras fuentes de energía, a pesar de los esfuerzos por “modernizar” el sector a partir de 1991 mediante reformas administrativas en las empresas públicas, procesos de desregulación y apertura comercial (Meyer, 2022; Martínez y Herrera, 2021). Asimismo, desde 1993 se promovió la inversión privada como parte de las negociaciones y puesta en marcha del TLCAN en 1994 (Buzo de la Peña, 1997).

Gráfica 4
Canadá. Producción de energía primaria (petajoules), 1995-2021



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

Al igual que México, Canadá presenta una estructura de producción primaria de energía dominada por los hidrocarburos (ver Gráfica 4). De acuerdo con datos de Statistics Canada (2022), entre 1995 y 2021 estos representaron en promedio el 81.7% del total, con una participación casi equilibrada entre el petróleo crudo (38.8%) y el gas natural (38.9%). En contraste, la generación hidroeléctrica y núcleo eléctrica aportaron conjuntamente el 9.5%, mientras que las energías renovables apenas alcanzaron el 0.3%.

Entre 1995 y 2021, la producción de energía primaria en Canadá aumentó de 14 500 a 21 753 petajoules (pt), lo que representa un crecimiento del 50% en 25 años. Este incremento se explica principalmente por el fuerte aumento en la producción de petróleo crudo, que pasó de 11 175 (pt) a 18 677 (pt) en el mismo periodo, equivalente a un crecimiento del 67.1%. En contraste, el resto de las fuentes de energía primaria se mantuvieron relativamente estables, sin variaciones significativas en sus niveles de producción.

Tanto la composición, como el desempeño de la producción de energía primaria en Canadá, responden fundamentalmente a dos factores. El primero es la alta disponibilidad histórica de reservas de hidrocarburos; el segundo, la estrecha vinculación comercial de las provincias productoras de energía con el mercado estadounidense, lo que ha incentivado una orientación exportadora y reforzado la dependencia de un modelo energético basado en hidrocarburos.

Al respecto Rioux y Winter (2020) señala que las industrias energéticas de Canadá y Estados Unidos han estado interconectadas desde mediados del siglo XIX. El primer pozo productor de petróleo comercializable en Canadá se perforó en 1858, en Ontario, seguido por el de Titusville, Pennsylvania, en 1859. Desde entonces, la industria petrolera y gasífera canadiense se ha expandido por todo el país, destacando en las últimas décadas

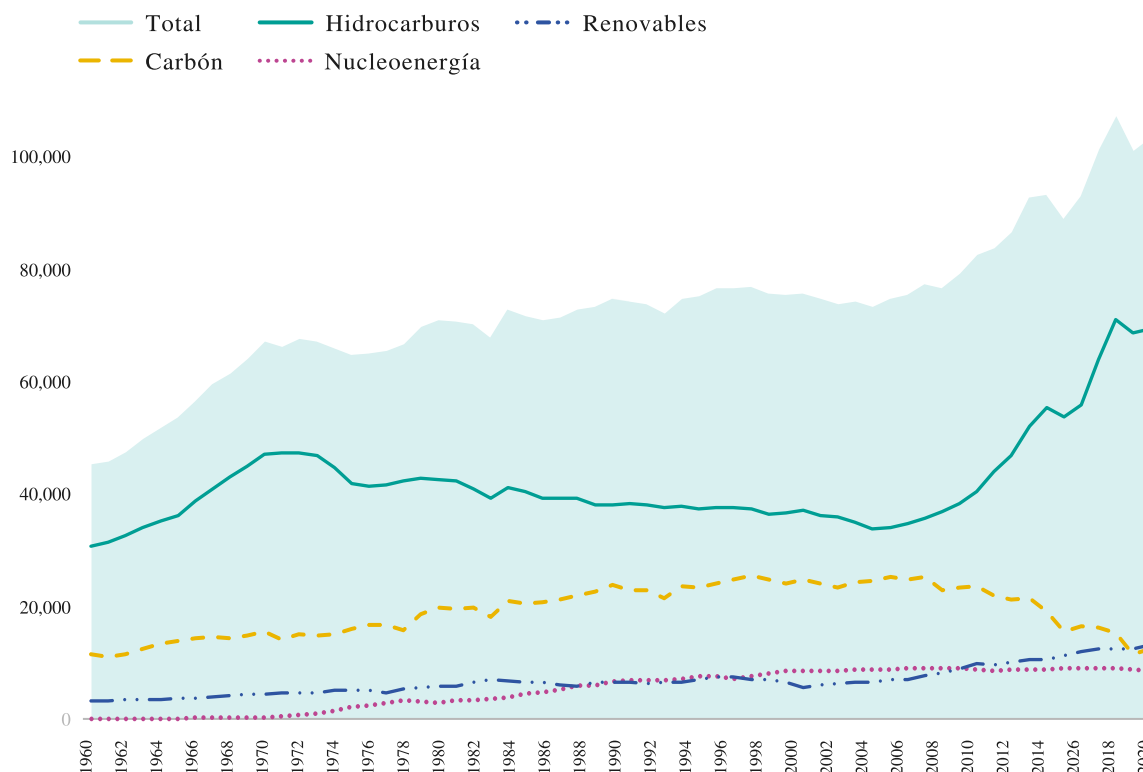
las provincias de Alberta, Columbia Británica, Saskatchewan, Manitoba y Quebec como principales centros de producción. Este desarrollo ha consolidado a Canadá como uno de los principales proveedores de energía del mercado estadounidense, desplazando gradualmente a varios países de la OPEP (Rioux & Winter, 2020).

Según datos de la OPEC (2023), Canadá ocupa el tercer lugar mundial en reservas probadas de hidrocarburos (1P), solo por detrás de Arabia Saudita y Venezuela. Se estima que dispone de un volumen total de reservas (3P) de aproximadamente 167 mil millones de barriles de petróleo, lo que permitiría sostener la explotación durante un siglo a un ritmo de 4.3 millones de barriles diarios (Rioux & Winter, 2020). No obstante, cerca del 97% de estas reservas son arenas bituminosas, una fuente no convencional con mayores costos de extracción y procesamiento. En este contexto, la participación de fuentes no convencionales en la producción total aumentó del 45.0% al 63.0% entre 2008 y 2019 (Rioux & Winter, 2020).

El segundo factor que ha determinado el desarrollo del sector energético en Canadá es su estrecha relación comercial con Estados Unidos, su principal socio comercial y fuente clave de flujos de capital y de desarrollo de infraestructura. En las últimas tres décadas, las exportaciones de crudo canadiense se dirigieron mayoritariamente al mercado estadounidense. Sin embargo, con el auge del *fracking* en Estados Unidos, la dinámica energética regional cambió notablemente. La producción estadounidense se incrementó gracias a la incorporación de tecnologías avanzadas, como la perforación horizontal, y a políticas públicas que fomentaron esta extracción, incluyendo la construcción de más de 80 mil kilómetros de nuevos oleoductos y gasoductos para conectar los centros de producción y procesamiento con los principales mercados de destino (Rioux & Winter, 2020).

En el caso de Estados Unidos, desde finales del siglo XIX se vivió una expansión económica sostenida basada en el desarrollo industrial, facilitada por la abundante disponibilidad de recursos energéticos, especialmente hidrocarburos y carbón (ver Gráfica 5). Esta dotación energética permitió la construcción de una base productiva amplia y diversificada, fortaleciendo el crecimiento económico (Palazuelos, 2000). A diferencia de Europa, donde el carbón dominó más tiempo, en Estados Unidos el petróleo se consolidó tempranamente como la principal fuente de energía, sosteniendo un prolongado ciclo de crecimiento económico interrumpido únicamente por la Gran Depresión (1930 y 1933).

Gráfica 5
Estados Unidos, Producción de energía primaria (petajoules), 1960-2020



Fuente: elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration.

Durante el período de posguerra comenzaron a aparecer los primeros signos de desequilibrio entre la producción y el consumo de energía en Estados Unidos. Aunque la producción energética mantuvo un crecimiento fuerte pero inestable, con una tasa promedio anual del 4.0% entre 1950 y 1973 (Palazuelos, 2000), resultó insuficiente para satisfacer el aumento sostenido de la demanda, especialmente de hidrocarburos. Estos se usaron no solo como energía, sino también como insumos estratégicos en la expansión de la industria petroquímica, que progresivamente sustituyó otras materias primas en sectores como el alimentario, textil y metalúrgico. Según Palazuelos (2000), la producción de petróleo y gas se duplicó durante esos veinte años, pero el consumo creció más rápido. Hacia 1970, las importaciones de crudo ya representaban más de un tercio del consumo nacional, mientras que la producción de gas mantuvo un alto grado de autosuficiencia relativa frente a la creciente demanda.

Esta condición de dependencia, derivada del elevado consumo energético de Estados Unidos, ha sido un factor determinante de su política exterior. Ejemplo de ello son la crisis del Canal de Suez en 1956, el embargo petrolero impuesto por la OPEP entre 1967 y 1973, la intervención en la guerra Irán-Irak en 1979 y 1980, y la primera Guerra del Golfo tras la invasión de Kuwait en 1990 (Rioux & Winter, 2020).

Entre 1960 y 2021, los hidrocarburos fueron la principal fuente de energía primaria en Estados Unidos, representando el 58.4% de la producción total, con el gas natural aportando 28.8% y el petróleo 25.9%. El carbón representó 27.3%, la energía nuclear 5.7% y las fuentes renovables 8.6%. Durante este período, la producción de hidrocarburos descendió prolongadamente entre 1970 y 2005, pasando de 47 055 a 33 656 pt,

con un aumento en los costos de extracción debido al desplazamiento de la producción desde Texas, Luisiana, Alabama, Oklahoma, Nuevo México y aguas someras hacia Alaska y aguas profundas (Palazuelos, 2000).

La disminución en la disponibilidad de energía incrementó la dependencia de importaciones, principalmente provenientes de Canadá, México, Venezuela y el Medio Oriente. Sin embargo, a partir de 2006, la producción de hidrocarburos se recuperó, pasando de 33 686 pt a 69 317 pt en 2021, prácticamente el doble en quince años. Gran parte de esta recuperación se atribuye a la explotación no convencional de gas y petróleo *shale*, mediante técnicas de fracturación hidráulica (*fracking*), que consisten en inyectar fluidos a alta presión para fracturar formaciones rocosas y liberar los hidrocarburos. Esta metodología genera yacimientos con menor vida útil en comparación con los convencionales y un impacto ambiental que puede ser igual o incluso mayor, debido al uso intensivo de agua y la posible contaminación de mantos freáticos durante la perforación y operación de los pozos.

En cuanto a la producción de carbón, durante los últimos doce años (2011-2021) se observó una fase de declive, pasando de 25 216 pt a 12 239 pt, es decir, del 32.7% al 11.9% de la participación total. Esta tendencia sería favorable si la descarbonización de la economía se compensara con un aumento en la producción de fuentes renovables; sin embargo, estas apenas alcanzan los 8 500 pt, poco más del 8.0% de la participación total.

Por lo tanto, la fortaleza actual del sector energético en Estados Unidos se explica principalmente por el aumento en la producción de hidrocarburos de fuentes no convencionales. Según la U.S. Energy Administration Information (EIA), en 2022 el *shale gas* aportó el 80% de la producción de gas natural seco, alcanzando un total de 28 billones de pies cúbicos, mientras que el petróleo *shale* representó el 66.0% de la producción de petróleo crudo, con un volumen de 7.79 millones de barriles diarios (U.S. Energy Information Administration, 2022).

IV. DE LA DEMANDA NACIONAL APARENTE A LA DEMANDA FINAL

En el mercado energético de cualquier economía, a la producción primaria deben sumarse los flujos comerciales netos, los energéticos ubicados en *bunkers* o depósitos marinos o de aviación internacionales, así como las posibles pérdidas o ajuste en los stocks, para obtener la cuantificación de la oferta total interna (IEA, 2023), que, para fines de este trabajo, se equipara al CNA (ver ecuación 3). Este indicador permite dimensionar la condición de autosuficiencia o dependencia a partir de la cuantificación de las importaciones netas (importaciones menos exportaciones), así como estimar la disponibilidad total de energía para su asignación a los distintos sectores económicos.

$$CNA = Producción\ primaria + importaciones - exportaciones \quad (3)$$

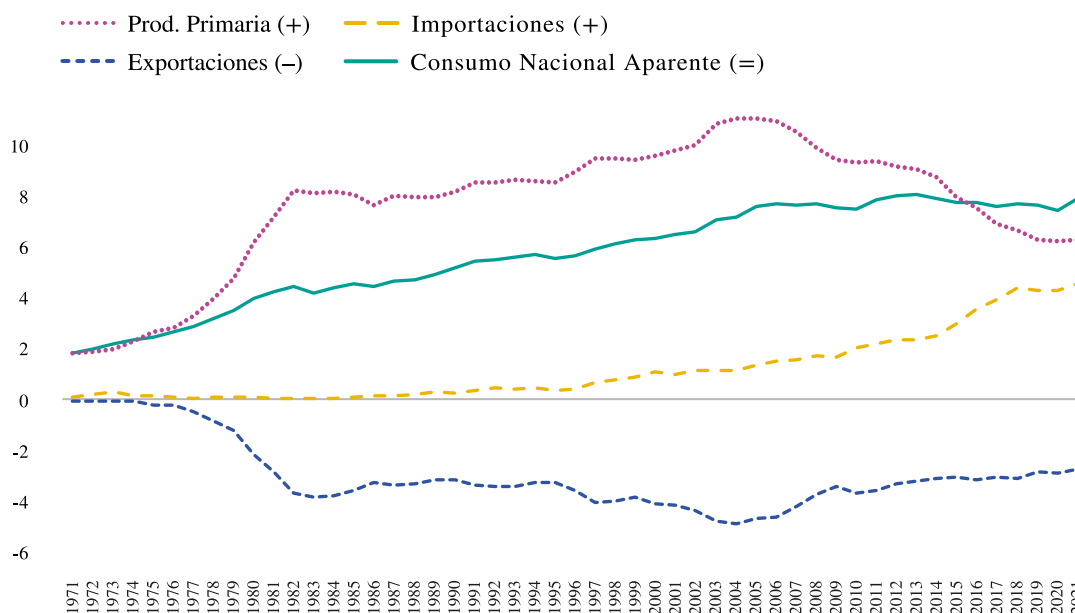
En este sentido, las condiciones del CNA en los países de Norteamérica son altamente heterogéneas, debido, en primer lugar, a la diferente capacidad de producción de energía primaria, ya analizada en el apartado anterior, y, en segundo lugar, a los cambios en los patrones de comercio energético, determinados principalmente por el proceso de integración económica iniciado a finales de la década de 1980 con el Acuerdo de Libre Comercio entre Canadá y Estados Unidos (ALC-CEU), seguido por el TLCAN y, finalmente, por el T-MEC.

Al analizar la estructura del CNA para México, se identifican diversos factores que influyen en la elasticidad de la demanda energética frente al crecimiento económico (ver Gráfica 8). En particular, la relación entre producción, importaciones y exportaciones evidencia un cambio de tendencia importante a partir del agotamiento de los campos petroleros de Campeche. Antes de 1975, el país prácticamente no exportaba energía; sin embargo, entre 1976 y 2004, las ventas al exterior aumentaron de 221 pt a 4 863 pt, para luego entrar en declive hasta los 2 757 pt en 2021. En este contexto, Pemex se utilizó principalmente como fuente generadora

de ingresos fiscales mediante la venta de petróleo al exterior, más que como empresa orientada al abastecimiento del mercado interno. Esta orientación fiscal limitó los recursos disponibles para inversión, reduciendo su capacidad de procesamiento de crudo a medida que las exportaciones aumentaban (Martínez y Herrera, 2006).

La contracción en la producción de energía disparó el nivel de importaciones, que pasó de casi cero a inicios de la década de 1990 a 4 526 pt en 2021 (ver Gráfica 6). Este incremento se explica, por un lado, por el aumento de las compras de gasolinas importadas debido al deterioro del Sistema Nacional de Refinación y, por otro, por el cambio en la generación de energía eléctrica. A partir de las reformas de 1992-1993 en la CFE, se limitó la hidro generación para favorecer el uso de gas natural mediante la incorporación de plantas privadas y la construcción de plantas de ciclo combinado, principalmente en el norte del país, aprovechando la cercanía con proveedores en Estados Unidos. Este cambio en la matriz energética condiciona actualmente la capacidad de crecimiento de la economía mexicana, al depender en mayor medida del volumen de importaciones, lo que representa una restricción externa significativa considerando que la elasticidad ingreso de la demanda y de las importaciones energéticas calculadas en los modelos econométricos son de 0.72% y 0.75%, respectivamente.

Gráfica 6
México. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021



Fuente: elaboración propia con datos de la IEA (2023).

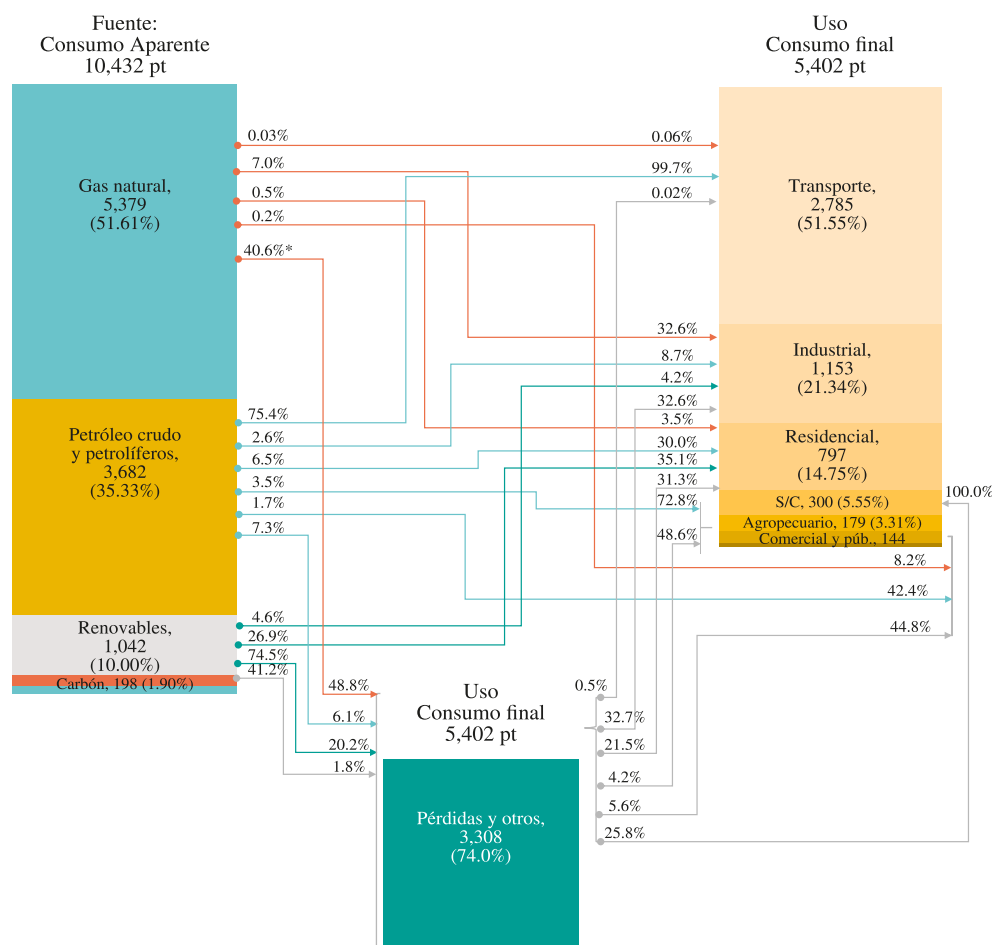
Por lo anterior, para lograr un crecimiento sostenido, México debe resolver la insuficiencia de su producción interna de energía y reducir la elevada dependencia de importaciones. Dado que se trata de un sector estratégico y de alta prioridad, no resulta conveniente que esté expuesto a las fluctuaciones de los precios internacionales ni a factores exógenos que puedan limitar su disponibilidad. Al analizar los flujos de origen y destino de la energía en México durante 2021 (ver Esquema 1), se observa que la demanda aparente está dominada por tres fuentes principales: gas natural (51.6 %), petróleo y petrolíferos (35.3%) y fuentes renovables (10.0%).

Por su parte, el gas natural constituye el principal combustible utilizado en la generación de electricidad, con una participación del 40.6%. Esta producción eléctrica se destina principalmente al consumo industrial (32.7% del total), seguido por el sector residencial (31.3%), el comercio (44.8%) y el agropecuario (48.6%). En cuanto al petróleo y petrolíferos, estos se orientan principalmente al sector transporte –gasolinas, diésel, turbosinas–, que concentra el 99.7% de su consumo. Asimismo, abastecen al sector residencial (30.0%, principalmente mediante gas LP), al agropecuario (72.8%, a través de diésel y gas) y al comercial (42.4%, igualmente con gas LP) (ver Esquema 1).

Así, aproximadamente el 90% de la energía primaria en México proviene de fuentes fósiles, mientras que las fuentes renovables representan apenas el 10% del total. De este conjunto, las energías renovables generan alrededor del 20% de la electricidad nacional, aportan el 35.1% del consumo en los hogares y sólo el 4.2% de la energía utilizada por el sector industrial.

Otro elemento relevante en la matriz de origen y destino de la energía es el impacto aún marginal de la electromovilidad en el sector transporte. En la actualidad, el 99.8% de la energía consumida en este sector proviene de fuentes fósiles –petrolíferos y gas natural–, mientras que sólo el 0.02% corresponde a la electricidad. Si se considera, además, que más de la mitad de la generación eléctrica nacional depende de combustibles fósiles, esta situación desmitifica la posibilidad de una transición rápida hacia modelos energéticos sustentables. En las próximas dos o tres décadas, la demanda de gas y petróleo continuará dominando el mercado energético mexicano. En este contexto, la entrada en operación de la refinería Olmeca en Dos Bocas, Tabasco, así como la modernización de las cinco refinerías existentes, resultan medidas necesarias para atenuar la presión que ejercerá el crecimiento económico sobre la demanda de petróleo y refinados en los próximos decenios.

Esquema 1
Fuente y uso de energía en México (petajoules), 2021

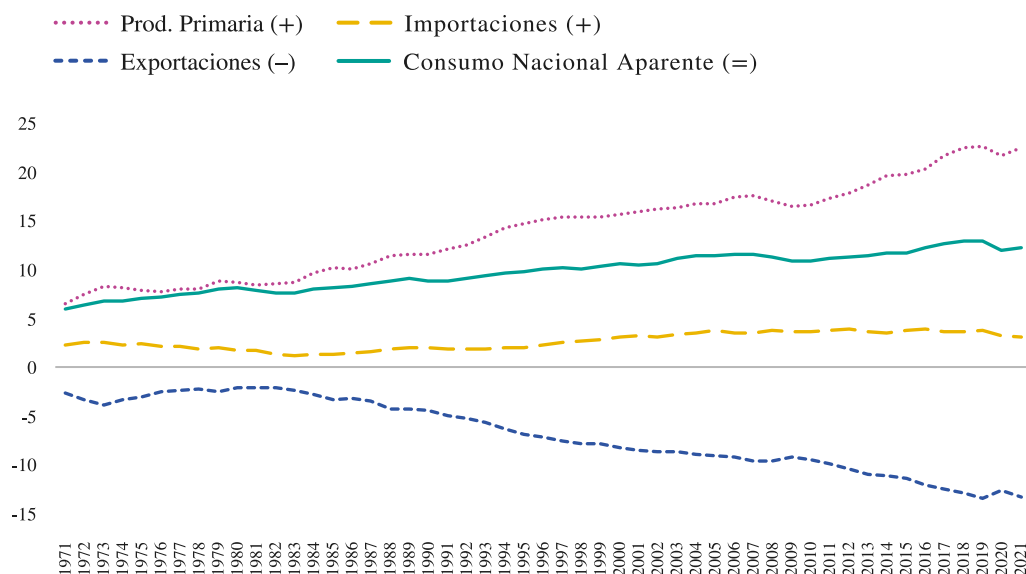


Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía (SENER, 2023).

Además, resulta urgente reposicionar a la CFE como garante de la provisión de energía eléctrica tanto para la industria como para los hogares. En este sector, es indispensable ampliar la capacidad de generación, reducir las pérdidas energéticas –equivalentes al 74.0% de la energía consumida en el proceso de producción eléctrica– y extender la cobertura dentro del territorio nacional. Asimismo, se requiere identificar y recuperar cerca de 300 petajoules de electricidad cuyo destino no se encuentra claramente registrado, lo que sugiere la existencia de prácticas de autoconsumo no reportado o de fugas derivadas de tomas clandestinas en la red de la CFE.

En el caso de Canadá, el CNA presenta una mayor estabilidad, principalmente por dos razones. En primer lugar, la población canadiense es sustancialmente menor que la de México y Estados Unidos, con aproximadamente 40 millones de habitantes (Statcan, 2023). En segundo lugar, la producción primaria de energía supera de manera constante a la demanda interna, lo que permite al país mantener una balanza energética positiva y consolidarse como exportador neto de energía (ver Gráfica 7).

Gráfica 7
Canadá. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021



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

Entre 1971 y 1988, las exportaciones energéticas de Canadá no superaron los 10 mil petajoules. Esta limitada dinámica se explica, en parte, por el cambio de orientación que adoptó la política energética canadiense durante la década de 1970 y la primera mitad de los años ochenta, especialmente a partir del Programa Nacional de Energía impulsado por el primer ministro Pierre Trudeau en 1974 (Rioux & Winter, 2020). Dicho programa tenía como objetivo garantizar el autoabastecimiento ante la crisis energética mundial, mediante el establecimiento de impuestos a las exportaciones de crudo y gas natural. Cabe destacar que esta política del gobierno federal entró en conflicto con los intereses de las provincias petroleras, las cuales, al tener jurisdicción sobre sus recursos naturales, solo podían ser limitadas mediante la imposición de restricciones al comercio exterior, facultad exclusiva del gobierno de Ottawa.

Con la elección del conservador Brian Mulroney en 1984, la política nacionalista de Trudeau sufrió un revés y se replanteó la relación comercial con Estados Unidos, proceso que culminó con la firma del ALC-CEU en 1988. A partir de 1989 y hasta 2021, las exportaciones energéticas prácticamente se triplicaron, al pasar de 4 310 a 13 435 petajoules (ver Gráfica 7). Este incremento se explica por la profundización de la relación comercial, ya que el ALC-CEU incorporó un capítulo energético que permitió el flujo de inversión estadounidense hacia Canadá sin restricciones, a la vez que las barreras comerciales entre ambos países se eliminaron por completo, ampliando el mercado para el petróleo y el gas canadiense. Como resultado, se consolidó un alto grado de integración sectorial, reflejado en el desarrollo de una extensa red de oleoductos y gasoductos que actualmente superan los 144 mil Km, sin contar aún con la finalización del oleoducto *Keystone XL*, diseñado para conectar la provincia petrolera de Alberta con el estado de Nebraska en Estados Unidos.

Ya con el TLCAN, se consolidó el mercado energético de América del Norte, estableciendo el patrón comercial que aún prevalece: Canadá exporta crudo y otros productos primarios a Estados Unidos, mientras que este último suministra principalmente gas y productos procesados. No obstante, las importaciones

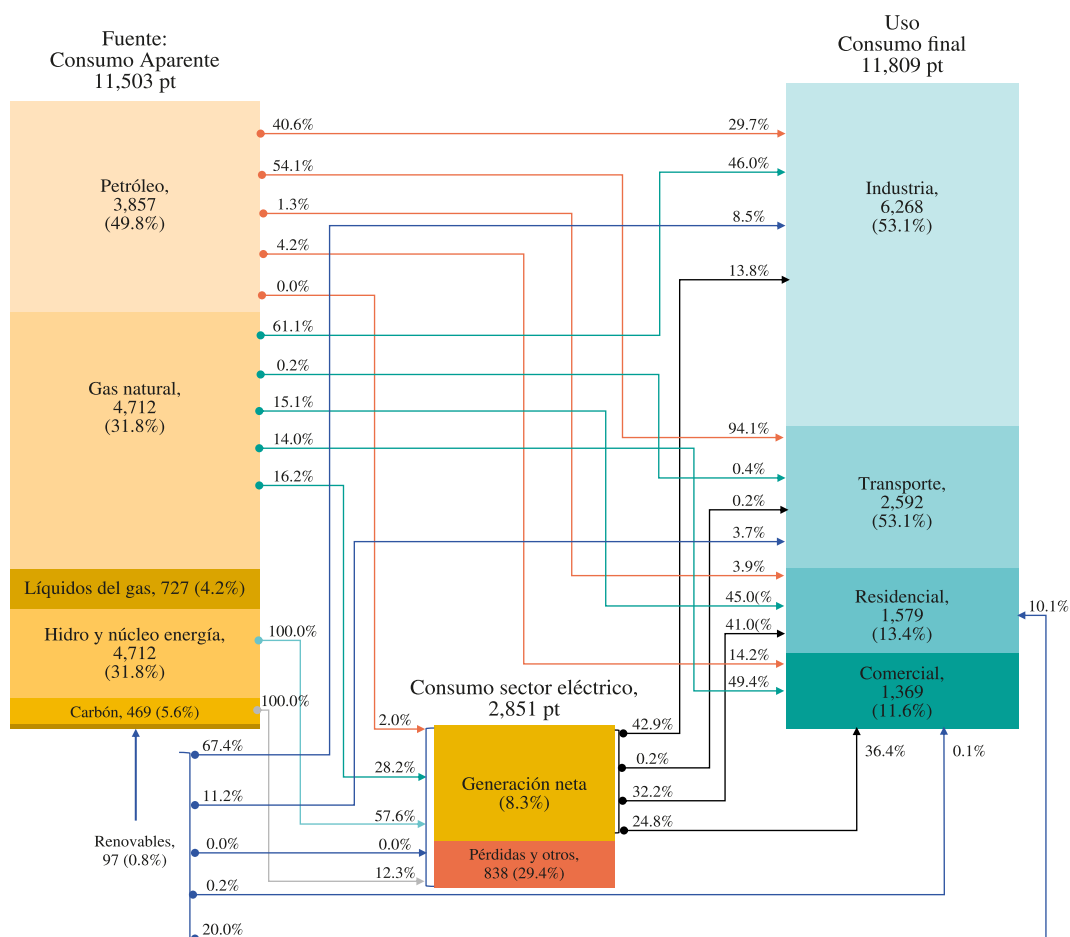
canadienses se han mantenido estables por debajo de los 5 mil petajuoles durante las últimas cuatro décadas. Esta estabilidad responde, en gran medida, a la moderada demanda interna, resultado de un bajo crecimiento poblacional, ya que el consumo nacional apenas aumentó de 10 mil a 12 mil petajuoles en los últimos 30 años. En consecuencia, tanto la elasticidad ingreso de la demanda energética como la elasticidad ingreso de las importaciones son relativamente bajas (0.49% y 0.37%, respectivamente), lo que otorga a Canadá una posición favorable en términos de su capacidad de crecimiento respecto a sus requerimientos energéticos. Sin embargo, la alta concentración de sus exportaciones en petróleo crudo genera una vulnerabilidad significativa frente a las fluctuaciones de los precios internacionales.

Al analizar la matriz de flujo energético de Canadá en 2021 –desde la disponibilidad de energía primaria hasta su uso final– se observan las siguientes condiciones (ver Esquema 2): del CNA, el 49.8% de los recursos energéticos provienen del petróleo y derivados, 31.8% del gas natural, el 4.2% de los líquidos del gas, el 8.3% de fuentes hidroeléctricas y nucleares, el 5.6% del carbón y apenas el 0.8% de fuentes renovables. A partir de esta disponibilidad inicial, la generación de energía eléctrica se origina en un 57.6% en fuentes hidroeléctricas y nucleares, mientras que el gas natural aporta el 28.2%; el resto proviene de fuentes menores, como los petrolíferos (gas LP y combustóleo), el carbón y las energías renovables.

La energía eléctrica cubre el 41.0% de la demanda de los hogares, el 36.4% de los establecimientos comerciales, el 13.8% de la industria y apenas el 0.2% del transporte. La energía derivada del petróleo y sus productos se destina principalmente al sector transporte, donde representa el 94.1% de su consumo; en la industria equivale al 29.7% y en los hogares al 14.2%. Por su parte, el gas natural tiene un uso intensivo en los establecimientos comerciales (49.4%), en la industria (46.0%) y en los hogares (45.0%), mientras que su participación en el transporte es marginal (0.4%) (ver Esquema 2).

Las fuentes renovables de energía son muy limitadas, tanto por fuente (0.8%) como por uso final. Sólo el sector residencial destaca, con 10% de su demanda cubierta por estas fuentes, seguido de la industria (8.5%) y el transporte (3.7%). Aun con ello, Canadá es la economía norteamericana donde las energías renovables tienen mayor peso relativo en la demanda final.

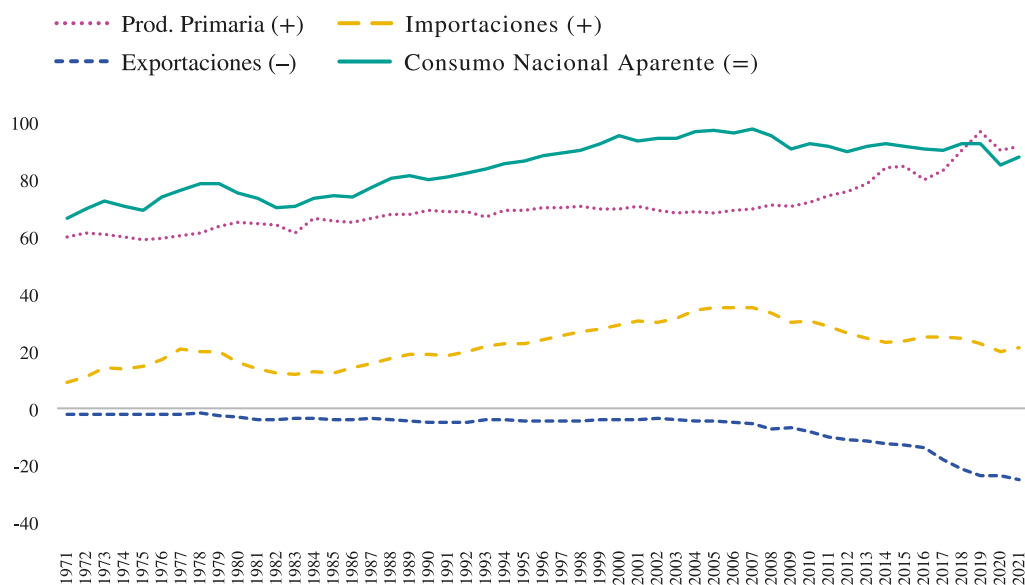
Esquema 2
Fuente y uso de energía en Canadá (petajoules), 2021



Fuente: elaboración propia con datos de Canada Energy Regulator 2023.

En Estados Unidos, las condiciones energéticas han pasado de un panorama desfavorable –por el agotamiento de la producción primaria– a un fortalecimiento del sector gracias al auge del petróleo y gas. Las importaciones han caído marcadamente desde 2008. La producción primaria aumentó de 61 325 pt en 1971 a 71 207 pt en 2008, mientras que el CNA creció de 69 791 pt a 95 225 pt, generando un déficit cubierto con importaciones. Desde 2008, la producción interna se disparó hasta 88 066 pt en 2021, superando al CNA (88,006 pt) y generando un superávit histórico no visto en seis décadas (ver Gráfica 8).

Gráfica 8
Estados Unidos. Componentes del consumo nacional aparente (miles de petajoules), 1970-2021



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

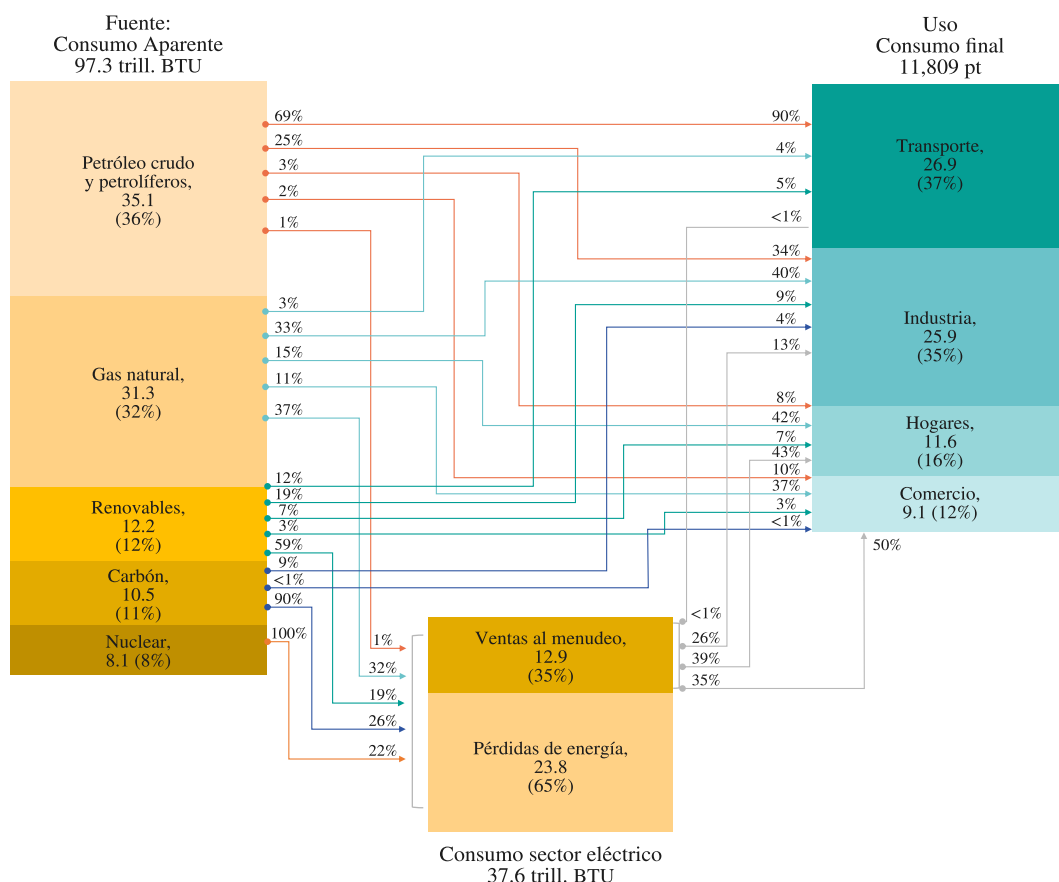
Otro factor que favorece el crecimiento económico de Estados Unidos es la diversificación de su matriz energética primaria, lo que incrementa la eficiencia energética al no depender de una sola fuente. Esta diversificación fortalece las interconexiones entre tipos de energía y permite una asignación más flexible y eficiente de los recursos energéticos.

Al analizar la matriz de origen y destino final de la energía en Estados Unidos (ver Esquema 3), se observa que el petróleo y sus derivados son la principal fuente, con el 36.0% del CNA, seguido del gas natural con 32.0%. En menor medida participan las fuentes renovables (12.0%), el carbón (11.0%) y la energía nuclear (8.0%). En conjunto, las fuentes fósiles aportan el 89.0% del total.

Por destino de cada fuente, el petróleo y sus derivados siguen siendo la base energética del transporte, con el 90% del consumo del sector y el 34% del consumo industrial; además, representan el 1.0% de los combustibles usados en la generación eléctrica. En cuanto al gas natural, su uso se concentra en la generación de electricidad (32% de los insumos del sector) y tiene una alta presencia en el consumo de hogares (42%), industria (40%) y comercio (37%) (ver Esquema 3).

La energía proveniente de fuentes renovables tiene una participación limitada en todos los sectores: 5% en transporte, 9% en industria, 7% en hogares y 3% en el sector comercial. El carbón se destina casi por completo a la generación eléctrica (90%), con un uso marginal en la industria (9%), mientras que la energía nuclear se dirige totalmente a la producción de electricidad.

Esquema 3
Fuente y uso de energía en Estados Unidos (2021) (British Thermal Units, BTU)



Fuente: U.S. Energy Information Administration (2022).

En el sector eléctrico, la principal fuente es el gas natural (32.0%), seguido por el carbón (26.0%) y la energía nuclear (22.0%). Aunque la electricidad se considera de uso final no contaminante, su generación depende en un 59% de combustibles fósiles: 1% petróleo, 32% gas natural y 26% carbón. En cuanto a su uso, representa el 39% del consumo de los hogares, 35.0% en comercio, 13% en la industria y apenas 1% en transporte. Por ello, es cuestionable afirmar que Estados Unidos transita hacia energías sustentables o que la electromovilidad sea una prioridad real, dado el bajo peso de la electricidad en el transporte de personas y mercancías.

CONCLUSIONES

El crecimiento económico está condicionado y, a la vez, impulsado por la estructura y dinámica del sector energético. La evidencia empírica confirma una relación circular entre producción y consumo de energía con el crecimiento económico. Los países desarrollados muestran estabilidad y diversificación en sus matrices energéticas, con mayor participación de energías renovables gracias a inversión en eficiencia e innovación. En contraste, economías en desarrollo, como México, dependen de fuentes fósiles, lo que las hace vulnerables y dependientes de los mercados internacionales.

México enfrenta una asimetría frente a Estados Unidos y Canadá, lo que limita los beneficios del comercio regional (TLCAN y T-MEC). Su capacidad de generación energética interna ha disminuido debido al agotamiento de fuentes primarias, mientras la demanda de energía secundaria crece por consumo doméstico, producción y transporte, incrementando la dependencia de importaciones. Estados Unidos y Canadá han fortalecido sus sectores energéticos mediante diversificación y eficiencia, estabilizando el consumo.

Las elasticidades de largo plazo muestran menor presión del crecimiento sobre la demanda energética en Canadá, mientras México y Estados Unidos requieren mayores incrementos de energía e importaciones por cada punto de crecimiento del PIB. Canadá y Estados Unidos han logrado estabilidad en sus fuentes primarias y CNAs, con superávits sostenidos o recientes, facilitados por la integración comercial, menor población canadiense y políticas de *fracking* en Estados Unidos, asegurando disponibilidad y mercados de exportación.

México, en cambio, ha mostrado una relación errática entre producción primaria y CNA. Esto debido principalmente a que Pemex priorizó ingresos fiscales por exportaciones sobre inversión en producción y procesamiento interno, provocando así una caída en la producción primaria desde 2005 y un déficit energético estructural desde 2016, condicionando el crecimiento del sector al mercado internacional.

Las matrices de flujos energéticos indican que los tres países dependen en promedio de 90% de fuentes fósiles y solo 10% de fuentes renovables, concentradas en consumo residencial y comercial. Esta estructura cambiará poco en las próximas décadas, afectando más a México por su alta intensidad energética.

En México, los hallazgos resaltan la urgencia de frenar el deterioro del sector energético para que no limite el crecimiento económico. Las políticas públicas deben enfocarse en fortalecer a las empresas estatales de energía como entidades estratégicas, un proceso que ya se inició con la contra reforma de febrero de 2024. Más allá de la eficiencia económica, es crucial garantizar el abastecimiento interno y avanzar en un plan de transición a mediano y largo plazo hacia una matriz sostenible sin comprometer la capacidad de crecimiento económico.

REFERENCIAS

- Acheampong, A., Boateng, E. y Amponsah, M. (2021). Revisiting the economic growth–energy consumption nexus: Does globalization matter? *Energy Economics*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105472>
- Akinlo, A. (2008). Energy consumption and economic growth: Evidence from 11 Sub-Sahara African countries. *Energy Economics*, 30(5), 2391–2400. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.01.008>
- Ayres, R. y Voudouris, V. (2014). The economic growth enigma: Capital, labour and useful energy? *Energy Policy*, 64, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.001>
- Buzo de la Peña, R. M. (1997). *La integración de México al mercado de América del Norte*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.
- Caraballo Pou, M. Á. y García Simón, M. J. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas. *El Trimestre Económico*, 84(335), 571–609. <https://doi.org/10.20430/ete.v84i335.508>
- CNH. (2023). *Rondas México*. Comisión Nacional de Hidrocarburos. <https://rondasmexico.energia.gob.mx/esp/contratos/>
- CNH. (2024). *Reporte de la consolidación de reservas de la Nación al 1 de enero de 2024*. Comisión Nacional de Hidrocarburos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921219/ConsolidaciondeReservas2024.pdf>
- Csereklyei, Z., Rubio-Varas, M. y Stern, D. (2016). Energy and economic growth: The stylized facts. *The Energy Journal*, 37(2), 223–255. <https://www.jstor.org/stable/24696755>

- Dasgupta, S. B. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147-168. <https://doi.org/10.1257/0895330027157>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Grossman, G. y Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, 3914. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Hartwick, J. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review*, 67(5), 972-974.
- Hunt, E. K. y Lautzenheiser, M. (2011). *History of economic thought: A critical perspective* (3er ed.). M. E. Sharpe.
- IEA. (2023). *United States, Key energy statistics 2020*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/countries/united-states>
- IEA. (2024). *Total increase in energy-related CO₂ emissions 1900-2023*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-increase-in-energy-related-co2>
- Jakob, M., Haller, M. y Marschinski, R. (2012). Will history repeat itself? Economic convergence and convergence in energy use patterns. *Energy Policy*, 34(1), 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.008>
- Jevons, W. (1981). On the probable exhaustion of our coal mines, In R. Black (Ed.), *Papers and correspondence of William Stanley Jevons* (vol.7, pp. 28–35). London: MacMillan.
- Jorgenson, A. K. (2007). Does foreign investment harm the air we breathe and the water we drink? A cross-national study of carbon dioxide emissions and organic water pollution in less-developed countries, 1975 to 2000. *Organization & Environment*, 20(2), 137-156. <https://doi.org/10.1177/1086026607302153>
- Kuczinski, M. (1980). *El Tableau économique de Quesnay*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lescaroux, F. (2011). Dynamics of final sectoral energy demand and aggregate energy intensity. *Energy Policy*, 39(1), 66-82. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.010>
- Martínez, F. A. y Herrera, S. (2021). Pemex, su reestructuración corporativa, financiera y productiva, y los efectos de ésta sobre la balanza comercial petrolera. *El Trimestre Económico*, 88(349), 143–180. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i349.1005>
- Martínez, F. A. y Herrera, S. (2006). Debilidades y fortalezas de la industria petrolera en México, 1985-2005. *Economía Informa*, (340), 95-107.
- Meadows, D. y Meadows, D. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento*. Madrid: El País-Aguilar.
- Meyer, L. (2022). *Las raíces del nacionalismo petrolero en México*. Fondo de Cultura Económica.
- O'Connor, M. (1993). Entropic irreversibility and uncontrolled technological change in the economy and environment. *Journal of Evolutionary Economics*, 3(4), 285-315. <https://doi.org/10.1007/BF01194944>
- OPEC. (2023). *Annual Statistical Bulletin 2022*. Vienna, Austria: Organization of the Petroleum Exporting Countries. https://asb.opec.org/ASB_PDFDownload.php
- Palazuelos, E. (2000). *Estructura económica de los Estados Unidos*. Madrid: Síntesis.
- Pemex. (2023). *Petróleos Mexicanos (Pemex). Reporte de Resultados 1er trimestre de 2023*: <https://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Webcast%201T23.pdf>
- Rioux, J.-S. y Winter, J. (2020). Forks in the road: Energy policies in Canada and the US since 1850. *American Review of Canadian Studies*, 50(1), 66-85. <https://doi.org/10.1080/02722011.2020.1743015>

- Ros, J. y Moreno, J. C. (2010). *Desarrollo y crecimiento en la economía mexicana: Una perspectiva histórica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021-4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
- Sarkodie S. A. y Strezov, V. (2019). A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 649, 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.276>
- Secretaría de Energía, Gobierno Federal. (2023). *Sistema de información energética*. <https://sie.energia.gob.mx/>
- SENER. (2017). *Balance nacional de energía 2016*. Ciudad de México: Secretaría de Energía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). *Programa institucional del Servicio Geológico Mexicano 2020-2024, avance de resultados*. México: Servicio Geológico Mexicano. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/735903/10_PI_SGM_AyR21.pdf
- Shahbaz, M., Shahzad, S. J., Mahalik, M. K. y Sadorsky, P. (2017). How strong is the causal relationship between globalization and energy consumption in developed economies? A country-specific time-series and panel analysis. *Applied Economics*, 50(13), 1350-1367. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366640>
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1976). Extraction costs in the theory of exhaustible resources. *The Bell Journal of Economics*, 7(2), 359-370. <https://doi.org/10.2307/3003261>
- Statistics Canada. (2022). *Table: 36-10-0009-01: International investment position, Canadian direct investment abroad and foreign direct investment in Canada, by North American Industry Classification System (NAICS) and region, annual*. <https://doi.org/10.25318/3610000901-eng>
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stern, D. I. y Cleveland, C. J. (2004). Energy and economic growth. *Rensselaer Working Papers in Economics*, No. 0410 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
- U.S. Energy Information Administration. (2022). *U.S. energy facts explained*. <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- United Nations. (2022). *Comtrade*. <https://comtradeplus.un.org/>
- Wolde-Rufael, Y. (2009). Energy consumption and economic growth: The experience of African countries. *Energy Economics*, 31(2), 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.11.005>
- World Bank. (2024, enero 22). *World Development Indicators*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Zilberfarb, B.-Z. y Adams, F. G. (1981). The energy-GDP relationship in developing countries: Empirical evidence and stability tests. *Energy Economics*, 3(4), 244-248. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(81\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0140-9883(81)90025-6)

ANEXO

Raíces unitarias

Variables/Países	ADF			PP			KPSS		ADF with brek test		Año de rompimientos
	A	B	C	A	B	C	η_{μ}	η_{τ}	A	B	
México											
LDemanda	-2.91	-6.22	4.82	-2.82	-5.91	2.84	0.21	0.874	-3.52	-6.38	2013/2020
Δ LDemanda	-5.32	-4.27	-3.4	-5.96	-5.51	-4.2	0.112	0.647	-7.21	-6.83	
LImportaciones	-2.03	-0.251	1.95	-2.19	-0.36	1.74	0.09	0.87	-7.51	-2.37	1997
Δ LImportaciones	-5.93	-5.85	-5.69	-5.93	-5.85	-5.7	0.069	0.091	-8.09	-7.15	
LPIB	-2.7	-3.34	5.33	-2.72	-3.25	4.59	0.17	0.94	-3.56	-3.94	2019/1996
Δ LPIB	-6.7	-5.57	-4.1	-6.03	-5.56	-3.96	0.073	0.519	-7	-7.12	
Canadá											
LDemanda	-2.77	-2.72	3.64	-2.9	-2.78	3.18	0.216	0.942	-4.91	-3.36	2007
Δ LDemanda	-5.5	-5.48	-4.77	-6.22	-5.7	-4.71	0.057	0.336	-5.88	-5.8	
LImportaciones	-1.56	-0.72	0.48	-1.85	-1.02	0.346	0.133	0.663	-2.95	-3.11	1997
Δ LImportaciones	-5.6	-5.62	-5.68	-5.72	-5.74	-5.79	0.141	0.151	-8.75	-7.23	
LPIB	-3.08	-4.41	6.95	-3.08	-4.39	5.11	0.208	0.945	-3.84	-4.87	
Δ LPIB	-6.3	-5.28	-3.37	-6.29	-5.25	-3.11	0.101	0.625	-6.85	-6.43	
Estados Unidos											
LDemanda	-1.29	-2.15	1.41	-1.44	-2.13	1.32	0.178	0.804	-2.59	-3.6	2007
Δ LDemanda	-3.76	-6.09	-6	-6.13	-6.09	-6	0.071	0.287	-6.91	-6.59	
LImportaciones	-1.83	-1.96	0.492	-1.73	-2.46	0.854	0.149	0.66	-3.71	-2.97	
Δ LImportaciones	-4.53	-4.48	-4.48	-4.47	-4.41	-4.41	0.068	0.297	-5.1	-5.17	
LPIB	-1.13	-1.82	8.95	-1.09	-2.21	8.5	0.208	0.951	-5.9	-7.07	1997
Δ LPIB	-5.88	-5.78	-2.37	-5.75	-5.68	-2.77	0.087	0.354	-6.52	-5.96	

Dado lo torbulento de las series y los posibles rompimientos estructurales, se tomó la decisión de que las 3 pruebas (ADF, PP y KPSS) indicaran estacionariedad en los niveles de las series para así aceptar la H_0 . La prueba ADF con rompimiento estructural muestra que para la demanda y el PIB en México se encontró evidencia de dos cortes estructurales, lo cual podría explicar que se rechacen las H_0 en los niveles de estas variables en los modelos B.

En los casos de las pruebas ADF, PP y ADF (con rompimiento) el modelo A incluye una constante y tendencia; modelo B incluye solo una constante; y el modelo C no incluye nada.

En el caso de la prueba KPSS el modelo A incluye una constante y tendencia; modelo B incluye solo una constante.

En los casos de las pruebas ADF y PP la H_0 es que la serie no es estacionaria, es decir, tiene una raíz unitaria. Entonces la H_1 indica que la serie es estacionaria.

En el caso de la prueba KPSS la H_0 indica que la serie es estacionaria, es decir, NO tiene una raíz unitaria. Entonces la H_1 indica que la serie No es estacionaria.

En el caso de la prueba ADF con rompimiento la H_0 indica que la serie tiene una raíz unitaria con un quiebre estructural, mientras que la H_1 indica que la series es estacionaria con un quiebre estructural.

Nota: Δ indica diferencia de la serie.

Los recuadros en verde indican el rechazo de la hipótesis nula al 5% de nivel de significancia estadística.

Conclusión: Para los 3 países las 3 variables son procesos no estacionarios I(1).

Pruebas: Vectores de Cointegración

Estados Unidos

Modelo Ecuación (1):

Normalidad JB $p(0.89)$, White Heterocedasticidad $p(0.07)$, LM $p(0.31)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

Modelo Ecuación (2):

Normalidad JB $p(0.80)$, White Heterocedasticidad $p(0.15)$, LM $p(0.75)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

México

Modelo Ecuación (1):

Normalidad JB $p(0.06)$, White Heterocedasticidad $p(0.13)$, LM $p(0.07)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba del máximo eigenvalue.

Modelo Ecuación (2):

Normalidad JB $p(0.25)$, White Heterocedasticidad $p(0.12)$, LM $p(0.82)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

Canadá

Modelo Ecuación (1):

Normalidad JB $p(0.27)$, White Heterocedasticidad $p(0.92)$, LM $p(0.42)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

Modelo Ecuación (2):

Modelo Ecuación (2): Normalidad JB $p(0.9)$, White Heterocedasticidad $p(0.33)$, LM $p(0.56)$.
Existe un vector de cointegración de acuerdo con la prueba de la traza.

Wage inequality of indigenous workers in Mexico

La inequidad salarial de los trabajadores indígenas en México

Roberto Gallardo del Ángel*, Mario Miguel Ojeda Ramírez**
y Julia Aurora Montano Rivas***

*Facultad de Economía, Universidad Veracruzana, México.
Correo electrónico: rogallardo@uv.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4661-0675>

**Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, México.
Correo electrónico: mojeda@uv.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6161-3968>

***Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, México.
Correo electrónico: julmontano@uv.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0434-4113>

ABSTRACT

This paper is a study of the wage distribution of indigenous workers and its changes over time. It offers an analysis of wage inequality for this type of worker compared to non-indigenous people by occupation type. The main objective is to provide some evidence that wages have become less unequal for both types of workers in recent years. Several statistical tools are used for measuring inequality and estimating the wage gap, such as the Gini index, Wasserstein distance, kernel densities, Oaxaca-Blinder decomposition and quantile regression. This study confirms that Indigenous workers receive lower wages compared with non-Indigenous workers, but the overall wage inequality is decreasing for all workers, with the larger decrease for indigenous people, although the improvement in wage equality is mainly reflected in the middle and upper parts of the wage distribution.

RESUMEN

Este documento es un estudio de la distribución salarial de los trabajadores indígenas y sus cambios a lo largo del tiempo. Ofrece un análisis de la desigualdad salarial para este tipo de trabajadores, en comparación con las personas no indígenas por tipo de ocupación. El objetivo principal es proporcionar alguna evidencia de que los salarios se han vuelto menos desiguales para ambos tipos de trabajadores en los últimos años. Se utilizaron varias herramientas estadísticas para medir la desigualdad y estimar la brecha salarial, como el índice de Gini, la distancia de Wasserstein, las densidades kernel, la descomposición de Oaxaca-Blinder y la regresión de cuantiles. Este estudio confirma que los trabajadores indígenas reciben salarios más bajos en comparación con los trabajadores no indígenas, pero la desigualdad salarial general está disminuyendo para todos los trabajadores, siendo la mayor disminución para las personas indígenas, aunque la mejora en la igualdad salarial se refleja principalmente en las partes media y alta de la distribución salarial.

Received: March/05/2024
Accepted: April/28/2025
Posted: January/12/2026

Keywords:

| Wage inequality |
| Oaxaca-Blinder
decomposition |
| Quantile regression |

Palabras clave:

| Inequidad salarial |
| Descomposición
Oaxaca-Blinder |
| Regresión de cuantiles |

Clasificación JEL | JEL Classification |

J15, J71, C31



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

INTRODUCTION

The present research is a study about the changes in the distribution of labor income for Mexican workers, with a focus on those considered native or indigenous. The study aims to compare the wage income distributions at two points in time and observe for changes in the wage gap for different occupations to observe whether indigenous workers' wages have become more equal over

time. The main scientific objective is to examine whether indigenous workers have improved in terms of income and job positions compared with non-indigenous people.

In recent years, there has been a renewed interest in studying social groups that are at an economic disadvantage, such as women and minorities. One of these groups is the original people on the American continent, wrongly and commonly referred to as Indians. Institutionalized discrimination against indigenous people originated during the conquest of México by Spaniards, with the establishment of a “Castas” system, which divided individuals and households according to the admixture of three main races: European, Indian or native, and African.

Unlike developed countries, where statistics based on ethnicity (race) are available, México has not yet developed consistent information systems based on ethnicity and cultural diversity. Flores and Telles (2012) mentioned that the little official interest in race or ethnicity comes from the hope that most indigenous populations would merge and accept a whitening process. But until now, there is still a large portion of the Mexican population that considers themselves as indigenous or descendants of the original population. For example, in 2010, the United Nations Development Program estimated 10.8 million indigenous people distributed nationwide, while the Mexican Population Census estimated only 6.7 million in the same year. This is because classifying this population is a difficult task and would depend on measurable physiological features. From the 2022 Mexican National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH), the population that was able to speak an Indigenous language was about 7.6 million, and those that self-identified as indigenous were little more than 34.4 million, from a total population of almost 129 million Mexicans. The problem is that 70% of the indigenous population lives below the poverty line and has serious disadvantages when competing in the labor market with those considered non-indigenous.

As an example, in terms of education, only 3.4% of the total population that self-identify as indigenous completed tertiary education, and this percentage decreases to 0.3% for those that speak an indigenous language. Table 1 shows that the non-indigenous population usually has a higher level of education which is also associated with a higher mean income and paid work in subordinated positions.

As mentioned before, an important issue will be which concept to use to describe an indigenous person, either the self-identification or whether one speak an indigenous dialect. It is difficult to define a boundary to build a working category of an indigenous person because most Mexicans have, to some degree, Indigenous ancestry due a continuous process of admixture. Table 1 shows the differences in classification of Indigenous population. If only language is considered to define an indigenous person, then, there are about 7.6 million of those individuals (about 6% of the entire population) in México. If any Mexican can identify himself/herself as indigenous, then there are about 34.4 million of indigenous people (about 27% of the entire population).

Still, the question remains on defining the concept of “indigenous” that allows us to classify those who are native or descendants of the original population of México. For example, in Canada, an indigenous people are those original to the country together with their descendants, and this is a genetic definition that has important legal consequences. By contrast, as most of the Mexican population may claim Indigenous ancestry, the official definition is not a racial one but a cultural one. Currently, an indigenous person is someone who speaks an Indian dialect and lives in a predominantly Indian community. The term “Mestizo” is applied to the rest of the population that, despite having Indian ancestry, may have adopted European-style society and values. Perhaps the best survey to study discrimination against indigenous people is the 2022 Mexican National Survey of Discrimination (ENADIS), which provides detailed information on ethnicity, cultural diversity, religious affiliation, disabilities, etc. However, the ENIGH contains information that allows the classification on the individuals that speak an indigenous dialect, and those that self-identify themselves

as Indigenous. Additionally, the ENIGH contains detailed information on the types of income sources for everyone, which is the focus of our analysis as this study about the distributions of labor income for both indigenous and non-indigenous populations.

Table 1
Indigenous population in México, 2022

<i>Self-identified as Indigenous</i>							
	Population			Formal Education			
	<i>Pop>3</i>	<i>Men</i>	<i>Women</i>	<i>No education</i>	<i>Primary</i>	<i>Secondary</i>	<i>Tertiary</i>
<i>Indigenous</i>	34,434,036	16,487,413	17,946,623	2.19%	10.48%	11.61%	3.36%
<i>No Indigenous</i>	90,126,735	43,053,458	47,073,277	3.38%	21.65%	31.71%	15.62%
<i>Total</i>	124,560,771	59,540,871	65,019,900	5.57%	32.13%	43.31%	18.98%
	Marital Status				<i>Mean Age</i>	<i>Mean Income</i>	<i>Occupied & Subordinated</i>
	<i>Pop>12</i>	<i>Married</i>	<i>Single</i>	<i>Separated</i>			
<i>Indigenous</i>	28,928,754	53.61%	32.43%	13.96%	34.9	\$20,698.78	81.40%
<i>No Indigenous</i>	28,928,754	53.61%	32.43%	13.96%	34.7	\$30,206.92	70.47%
<i>Speak an indigenous dialect</i>							
	Population			Formal Education			
	<i>Pop>3</i>	<i>Men</i>	<i>Women</i>	<i>No education</i>	<i>Primary</i>	<i>Secondary</i>	<i>Tertiary</i>
<i>Indigenous</i>	7,579,934	3,621,950	3,957,984	0.97%	2.76%	2.05%	0.31%
<i>No Indigenous</i>	116,980,837	55,918,921	61,061,916	4.61%	29.37%	41.27%	18.67%
<i>Total</i>	124,560,771	59,540,871	65,019,900	5.57%	32.13%	43.31%	18.98%
	Marital Status				<i>Mean Age</i>	<i>Mean Income</i>	<i>Occupied & Subordinated</i>
	<i>Pop>12</i>	<i>Married</i>	<i>Single</i>	<i>Separated</i>			
<i>Indigenous</i>	6,673,731	63.90%	21.60%	14.51%	39.1	\$15,597.67	98.88%
<i>No Indigenous</i>	98,745,397	50.12%	35.61%	14.27%	34.5	\$28,405.73	71.75%
Own estimation using the ENIGH 2022. The classification of indigenous is for those with more than 3 years of age. Percentages are in terms of the total population with more than three years of age or more than 12 years old. Mean income not adjusted by selection. Married category also includes those in common law. Separated category includes those divorced and widowed.							

Source: own estimations.

The present work focuses on the study of wage distribution, although, as a secondary objective, there is an analysis of the wage gap between indigenous and non-indigenous workers. This study covers two points in time, twelve years apart, to allow comparison during times of similar macroeconomic conditions (DGP growth), therefore using the ENIGH surveys of 2010 and 2022, which also coincides with two different presidential midterms where the country was governed by right and leftist governments. This is important because two different governments may have different approaches to transfers and social welfare. The only exception is the Oaxaca-Blinder decomposition which uses the data from the ENIGH 2020, trying to figure out the main reasons for the wage gap for a year where the real GDP was decreasing, therefore revealing a possible larger and detectable labor discrimination.

In Figure 1 shows the Lorenz curve for Indigenous workers (dashed line) which is completely below the curve for non-Indigenous workers and therefore has a larger Gine index. But Figure 2 shows the Lorenz curves for the year 2022, with the curves for Indigenous and non-Indigenous crossing each other, therefore it is difficult

to assess which distribution is more unequal. Our scientific objective will be to use income inequality measures to assess indigenous workers' wage distributions over time compared with non-indigenous workers.

Figure 1
Lorenz curves for Indigenous vs Non-Indigenous, 2010

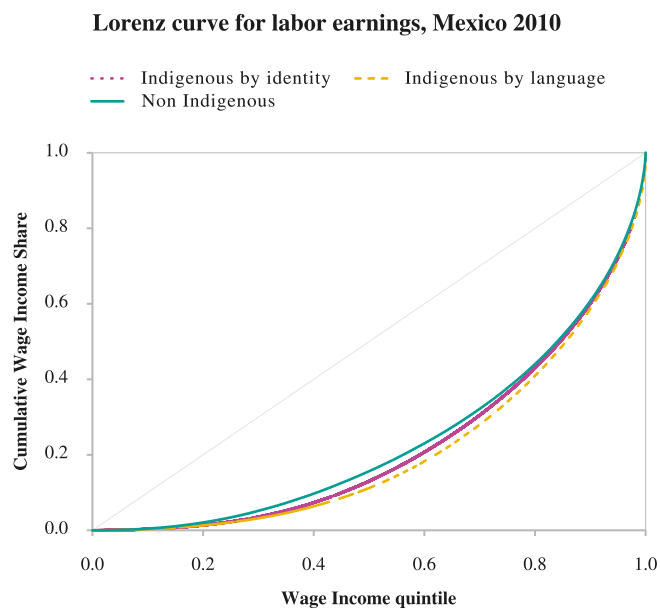
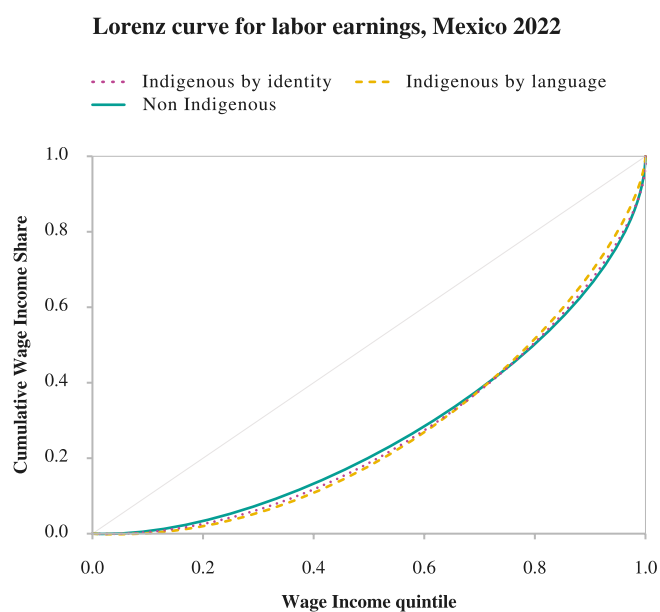


Figure 2
Lorenz curves for Indigenous vs Non-Indigenous, 2022



Source: own estimation using the data from Mexican National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2010 and 2022.

Another objective in this paper is to analyze the wage distributions by occupations to observe for labor market segregation. Unfortunately, indigenous workers are associated with informal and elementary occupations, mainly in the agriculture sector of the economy, and also participate less in management and professional jobs. The difference in occupations also reflect the fact that there are relatively more indigenous workers who are informal, which deprives them of social security and benefits derived from meaningful and formal jobs. The scientific objective in this study is the wage distributions of Mexican workers based on ethnicity and by type of occupation.

Table 2 shows the percentage of workers by occupation type classified by the two available concepts of indigenous person. In each concept, indigenous workers are clearly underrepresented in most occupations, including managers, professionals, technicians and others, but better represented in jobs in agriculture and as manual laborers (general labor). This is more evident when using the concept of individuals that speak an indigenous dialect, as it highlights larger contrasts in occupations characterized by low pay and productivity.

This study focuses mainly on the concept indigenous person based on culture and language, although the self-identification as indigenous will also be used. The concept based on culture and language offers a clearer picture of people that have being traditionally discriminated against and left behind with fewer opportunities. That, when using the self-identification information, the labor income gap between indigenous and non-indigenous is smaller, as many workers that consider themselves part of the original people, which may be correct in terms of genetics, but difficult to assess as a more homogeneous category.

Table 2
Total workforce by occupations, 2022 (SINCO)

<i>Occupation type</i>	<i>% Indigenous (by dialect) vs Non-indigenous</i>		<i>% Indigenous (by Identity) vs Non-indigenous</i>	
	<i>Indigenous</i>	<i>Non-indigenous</i>	<i>Indigenous</i>	<i>Non-indigenous</i>
0. Migrant worker	0.002%	0.24%	0.02%	0.22%
1. Managers	0.07%	3.74%	0.57%	3.25%
2. Professionals	0.33%	15.09%	2.75%	12.67%
3. Technicians	0.10%	5.67%	1.12%	4.65%
4. Clerical	0.72%	13.16%	3.68%	10.20%
5. Services and sales	0.34%	7.75%	2.11%	5.99%
6. Agriculture	2.02%	5.68%	4.00%	3.71%
7. Trades	0.86%	8.52%	3.16%	6.22%
8. Operators	0.26%	9.39%	2.06%	7.59%
9. Manual laborers	2.58%	23.46%	9.28%	16.76%
Total	100%		100%	

SINCO = National System for Classification of Occupations.

Source: own estimations with ENIGH 2022 data.

This work begins with an introduction that includes information on the current situation of the indigenous population in México, and the scientific objectives to pursue. The next section contains a review of the literature about discrimination against Indigenous people in México. In the second section there is a brief explanation of the methodologies used in this analysis. The third contains the main findings and the last section contains the main conclusions.

I. LITERATURE REVIEW

The existing literature on the economic conditions of indigenous people in México is perhaps limited to development studies and focus primarily on poverty and social and economic disadvantages. Psacharopoulos & Patrinos (1994), in the survey on poverty in Latin America published by the World Bank, found that extreme poverty for the indigenous population is four times larger than that for those considered non-indigenous in México, a pattern that repeats itself in other Latin American countries. They conclude that differences in levels of poverty between indigenous and non-indigenous people came from differences in formal education and human capital.

More recently, Navarrete (2013) highlights the lower returns on education and fewer opportunities for indigenous people. This work applies an Oaxaca-Blinder decomposition to study poverty gap for indigenous people using the Mexican Family Life Survey (MxFLS) 2002 and 2006 and found that poverty is chronic in México and affecting more Indigenous people than non-Indigenous. People in Indigenous communities have less returns to education, lack access to health services and formal employment, among other problems that enhance poverty. A similar analysis by Servan *et al.*, (2014) also found that the indigenous population has limited access to health and education as well as fewer employment opportunities. Cano & Mason (2016) mention that in México, although the Penal Code prohibits labor discrimination and the Federal Labor Law emphasizes that there should be no discrimination based on ethnic origin, discrimination against indigenous people persists nowadays, mainly when people self-identify as Indigenous, which has been a reason for discrimination at work and in schools. To find out the relationship between Indigenous self-identification and the salary received in the labor market, the authors take a sample of the 2010 census data considering the variables related to salary, some of which are age, years of education, self-employment, work hours per week, monthly income, and different types of jobs. They carried out a regression analysis, in which they discovered that people who declare themselves Indigenous receive a 9% discount on their salary, and if they mention that they speak an Indigenous language, their salary has an additional discount. Speaking Spanish at home is reflected in their income. They consider their way of acting and thinking, their cognitive ability, their employment status, and their community of origin as the factors that influence the wage gap.

Villarreal (2010) used the 2006 MIT México Panel Study, which includes information on the skin color of respondents as well as individual characteristics of occupation, poverty, and education attainment, and with a logistic regression explains how racial features, such as skin color, determine occupational opportunities, education attainment, and economic affluence. Comparatively, individuals with darker skin usually have less favorable economic conditions, fewer occupation opportunities, and less education. Following Villarreal's (2010) findings, Flores and Telles (2012) use the 2010 America's Barometer by the Latin American Public Opinion Project (LAPOP 2010) and use similar methodology to include parents' economic status. This study found that class (socio-economic status) determines mainly occupation, while race (skin color) determines education. Individuals with dark skin, with low-level occupations and low economic status, will have more chances to pass on these conditions to their children. The study found a money-whitening effect, where high-income individuals are classified to have white skin. This study is relevant because it introduces the

concept of class or socio-economic status into the analysis of the indigenous population and shows how social mobility is also a problem, especially for marginalized indigenous households.

Caicedo (2009) analyzes the wage difference between the native population and Latin American immigrants in the United States, establishing how much of this gap is due to differences in human capital and how much to the different treatment that certain workers receive in the labor market. The analysis includes Mexicans, Cubans, and Central Americans. The results highlight large differences in human capital among workers but also the unequal treatment of the market exercised mainly towards some groups of Latin American workers. Luz-Tovar & Samario-Zarate (2023) is an Oaxaca-Blinder decomposition analysis for Mexican Indigenous workers and found that the wage gap was about 36% using data from the ENIGH 2018.

Ahmad (2020) performed a study on labor market discrimination in Finland using fictitious job applications with Finnish, English, Russian, Iraqi, and Somali names with similar human capital levels and credentials that were sent to different Finnish businesses. The probability of a callback was estimated, and the results showed that discrimination was based on the ethnic background of these fictitious workers, all with similar credentials. A similar analysis is Di Stasio & Larsen (2020), which also implemented 19 thousand job applications in five countries: Britain, Germany, the Netherlands, Spain, and Norway. The job posting included positions such as cooks, hairdressers, payroll checkers, sales representatives, receptionists, software developers, store assistants, and other skilled trades. The applications contained fictitious backgrounds for white minorities, Black people, Asians, and Middle Eastern countries against the white majority of these five countries. These studies show that employers have some biases against foreign minorities.

Solis *et al.* (2019) researched social factors as well as discriminatory practices that influence social and ethnic/racial inequality. For this, they carry out three focus groups in each of three localities in the state of Yucatan in four cities of the country. Each group was made up of three men and three women, considering socioeconomic levels and people with parents who speak an Indigenous language. They conducted interviews to learn more about discrimination and social problems, registering 565 pieces of evidence on discrimination, and they classified it into 1) not allowing entry to certain public and private areas, that is, they are denied entry to the school, to the place where they could work, to shops, parks, and gardens, etc.; 2) Preferences and limitations: They receive services with restrictions; for example, they have a job but are not entitled to benefits, they receive limited health services, and the transport service is marginalized, and 3) psychological abuse such as insults and humiliation by bosses, employers, teachers, etc. They conclude that what triggers racial discrimination are characteristics such as skin color, speaking an Indigenous language, and the type of clothing they wear.

Jarvis *et al.* (2018) is a work that deals with the indigenous population and sustainability. They explain that in México, as in other countries, the indigenous population works protecting the flora and fauna, supported by some federal programs that aim to protect natural resources and, at the same time, offer social benefits and economic incentives to Indigenous people. They argue that the salaries of Indigenous and non-Indigenous communities differ due to the structure of their economies. The labor support that companies receive depends on the skill, knowledge, and experience of the employees. Therefore, the salary of Indigenous people is lower. Studying the Indigenous people's income increases and the wage gap changes, the authors concluded that these federal programs play a significant role in the country's economy, closing the income gap between the Indigenous and non-Indigenous populations.

Canedo (2019), is a decomposition analysis of wage differentials. This study highlights the factors related to the wage gap between the Indigenous and non-Indigenous population of México, as well as the policies that can influence this difference. In the reviewed bibliography, they mention in a relevant way that the Indigenous working population receives low wages and lives in poverty. She used the data of the economically

active population from the National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH) of 2016. Based on the descriptive analysis, the Indigenous population has on average 6.9 years of study, their workday is 6 hours a day, and they report more years of experience; however, their salary is much lower than that of the non-Indigenous population. She applies the decomposition of a regression model (Oaxaca-Blinder) to evaluate the difference in wages between both populations through the observable and unobservable variables, finding a wage gap of 77.9 %, of which 37.2 % refers to variables such as place of residence, occupation, type of spoken language, among others. The analysis shows that the gap would be smaller if Indigenous people lived in larger towns and if they also had a similar educational level to non-Indigenous people, and that the wage gap of the female population is wider due to the presence of discrimination reflected by penalties in their salary.

Another interesting work is Pérez & Martínez (2022), which is a decomposition of wage differentials for Mexican migrants and native workers in the US. Using the Ñopo (2008) and Ñopo *et al.* (2011) matching method, they found there is inequality between these types of workers, and the wage gap is mainly due to the unexplained conditions related to taste and statistical discrimination. They argue that, despite the accumulation of human capital, Mexican migrant workers are more likely to work in jobs that the natives no longer want. Stabridis & Salgado-Viveros (2023) also uses a matching method to analyses labor discrimination against agricultural workers (jornaleros) in the Northwest of México.

II. DATA AND METHODOLOGY

The statistical on wage distribution we used the data from the Mexican National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH) of 2010 and 2022, which is periodically released by the Mexican National Institute for Statistics, Geography and Informatics (INEGI). This survey contains detailed information about income sources as well as labor and individual characteristics, including ethnicity. This survey is representative nationwide, with a total sample of 108 thousand individuals for the 2010 survey and 310 thousand for the 2022 survey. Income from work is aggregated and merged by each member of every household, and the pertinent explanatory variables are selected. For the analysis of Oaxaca-Blinder decomposition the ENIGH 2020 was used.

Before proceeding to estimate the wage distribution of indigenous and non-indigenous workers, the labor earning data was corrected for selection and used for imputation on the missing information on wages and other labor earnings. For this, a Heckman correction model was performed as depicted in Heckman (1979), in order to find the real distribution of log wages. A two-step regression was estimated, first a Probit regression on labor market participation and later a Heckman selection model. It is usual to assume that the error terms in both equations are distributed normal; then the expected value of the dependent variable in the main equation is:

$$E(w_i | x_i, l = 1) = x_i\beta + \rho\sigma\lambda(v_i\gamma) \quad (1)$$

Where λ is the Mills' ratio and ρ is a parameter that represents the correlation between the first term $x\beta$ and the Mill's ratio. If $\rho = 0$ then this equation can be estimated with OLS, but if $\rho \neq 0$ it must be adjusted because, not doing so, we may obtain a biased estimate β . After doing the correction, the predicted values were estimated, and a new and corrected dataset was obtained. With this procedure, about 2/3 of the missing information was predicted for the labor income variable.

Gini index and Wasserstein distance

For an analysis of wage distribution, the Gini index is used, which is an income distribution measure that can be defined as the area between the Lorenz curve and the equality line. The Gini is a very well-known and widely applied income distribution measure. It is used to make comparisons among populations and observe changes over time. But one of the main critiques is that the Gini index is not quite decomposable, which means that it performs poorly when used to compare different subgroups. The principle of transfers is not so strong, which means that the effect of a transfer in the distribution will depend on the rank of the ordering. In a few words, there may be the case that the Lorenz curves cross each other. In such a situation, an additional analysis is needed to check whether the change in the income distribution of one group is superior to the other. For this reason, the Wasserstein distance was used as a measure of total change (transport) of one distribution to another, which may give us a magnitude of the change in a distribution.

The Wasserstein distance is used to solve the optimal transport problem and measures the dissimilarities between two distributions. It is defined as the path root of the total cost function of moving a mass from one location to another, where the cost is conceived as adding the Euclidean distance to move every point. If the wage distribution was to be moved from one point in time to another, the Wasserstein distance is the minimum cost of moving the whole distribution. The idea is to apply the Gini coefficient to some subgroups to observe changes in income inequality within each subgroup and then use the Wasserstein distance for validation of such changes.

To complement the analysis of the distribution of indigenous wages, a graphical approach was tested with the use of Kernel distributions, which allow to visualize the real distributions of wages.

Quantile regressions and Oaxaca-Blinder decomposition

A simple Mincerian wage regression may be useful to understand the size of the wage gap between indigenous and non-indigenous workers, but a lineal regression may not represent properly the differences among different income groups. For example, the effect of the indigenous category on wages in México may be found using the simplest wage equation in the form:

$$\log wages_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 E_i + \beta_3 E_i^2 + \beta_4 I_i + \beta_5 O + \mu_i \quad (2)$$

Where S_i represents education level, E_i represents the age of each worker, I_i represents the category of indigenous person, and O_i are other individual and labor market variables. The use of a simple linear regression may not account for the different categories of workers, occupations and other features that account for much of the heteroskedasticity problems in the data. For this reason, a quantile regression was used in order to observe changes in wages due to the category of indigenous in different labor income quantiles. This is to say, the regression analysis of wages does not use the mean as the reference, but the median and other quantiles.

To complement the analysis of the wage gap between indigenous and non-indigenous workers, the Oaxaca-Blinder decomposition was estimated, first proposed by Oaxaca (1973), to explain the differences in mean income between the two groups. The differences in labor earnings between these two groups of workers, let us say indigenous and non-indigenous can begin separating by group $Y_i^N = \beta_{ik}^N X_{ik}^N + \epsilon_i$ for non-indigenous and $Y_j^I = \beta_{ik}^I X_{ik}^I + \epsilon_j$ for indigenous.

Both are explained by a vector of K covariates, respectively. Each β is the vector of intercepts with $K-1$ slope coefficients of the regression for each group N, I . The error term ϵ is distributed normally with mean zero and variance σ^2 . Then the difference in means between these two groups is just:

$$\Delta \bar{Y} = \bar{Y}^N - \bar{Y}^I = (\bar{X}^N - \bar{X}^I)' \hat{\beta}^I + \bar{X}^{I'} (\hat{\beta}^N - \hat{\beta}^I) + (\bar{X}^N - \bar{X}^I)' (\hat{\beta}^N - \hat{\beta}^I) \quad (3)$$

The first term on the right is group difference in covariates, the so-called endowment effect, which considers that both groups are different due to their characteristics. The second part explains the differences in coefficients, including the intercept, which, in part, can be attributed to discrimination. And the last part is the interaction term that explains that both differences, in covariates and coefficients, are present at the same time (interaction term). The above equation is known as the threefold decomposition, and it uses the Indigenous group as the reference for this decomposition.

II. ESTIMATIONS AND RESULTS

Figures 3 and 4 show the distribution of wages in México using kernel densities separated by quantiles for the years 2010 and 2022 and by occupations, as defined by the North American System of Occupations (SINCO), with numeration as shown in Table 2. From this graphical analysis it can be observed that, in the year 2010, the income distributions for agricultural workers (number 6 in the ordinate axis) are right skewed and their lowest quantile is small compared with other occupations. Other distributions are also skewed to the right and evidently truncated as well, like those for manual laborers and clerical workers, but relatively larger for the lowest quantiles.

Looking at the year 2022, most of the distributions of wages are moving to the left and becoming more normal. Comparing the kernel densities, the distribution for agricultural workers in 2022 becomes less skewed with a larger lowest 20% quantile and becomes bimodal, perhaps due to specialization and the effects of higher levels of education. The lowest quantiles in most distributions in the year 2022 are larger and much less skewed, so the mean and the median wages are much closer in 2022 than in 2010. These graphs show the distributions by occupation of the entire labor force, but the main interest is in the distributions of wages by ethnic background.

Figures 5 and 6 show the kernel densities for indigenous and non-indigenous workers for the years 2010 and 2022. Using these two categories, it can be observed that the kernel densities are skewed to the right, but this is because of the use of logarithms in the wage variable instead. The most important information is that the distribution for indigenous workers is always to the right of non-indigenous, which shows that the median and mean wages of non-indigenous workers are larger than those speaking an Indigenous dialect. Non-indigenous wage distribution dominates that of indigenous workers, but it is difficult to assess which one is more unequal just using a graphical analysis, especially for the year 2022.

Figure 3
Kernel distributions of Wages by Quantiles, 2010

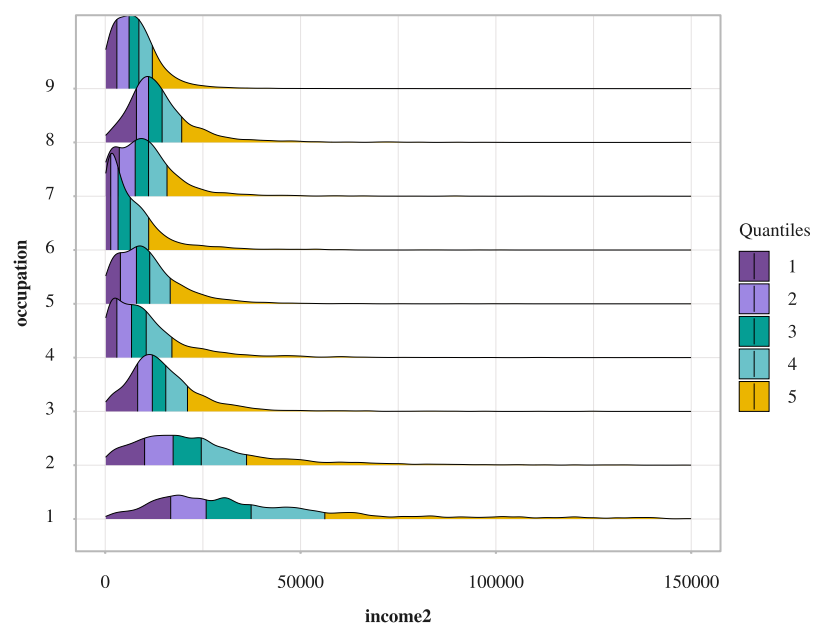
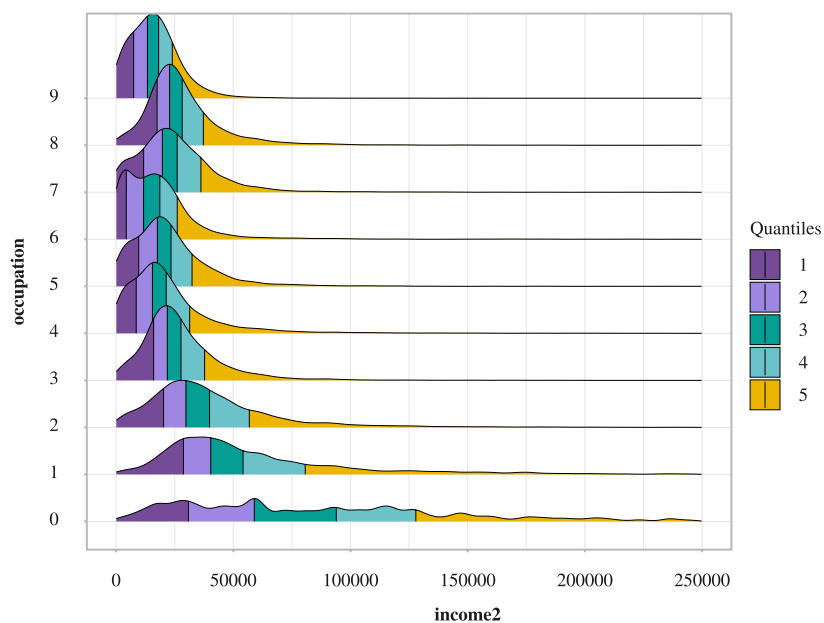


Figure 4
Kernel distributions of Wages by Quantiles, 2022



Note: the category "0" in 2022 are those working in a foreign country (e.g. migrant workers). The R code used to estimate the quantile regression graph was from yuzaR Data Science (2022, Dec 22).

Source: own estimates using the data from Mexican National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2010 and 2022.

Figure 5
Kernel densities Log Wages for Indigenous (Language) vs Non-Indigenous, 2010

Ln Earnings from Work 2010 – Indian (Language) vs Nonindian

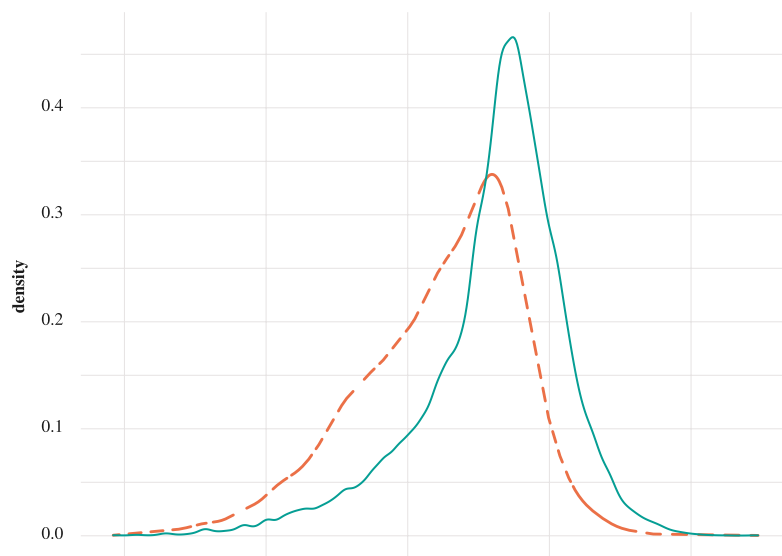
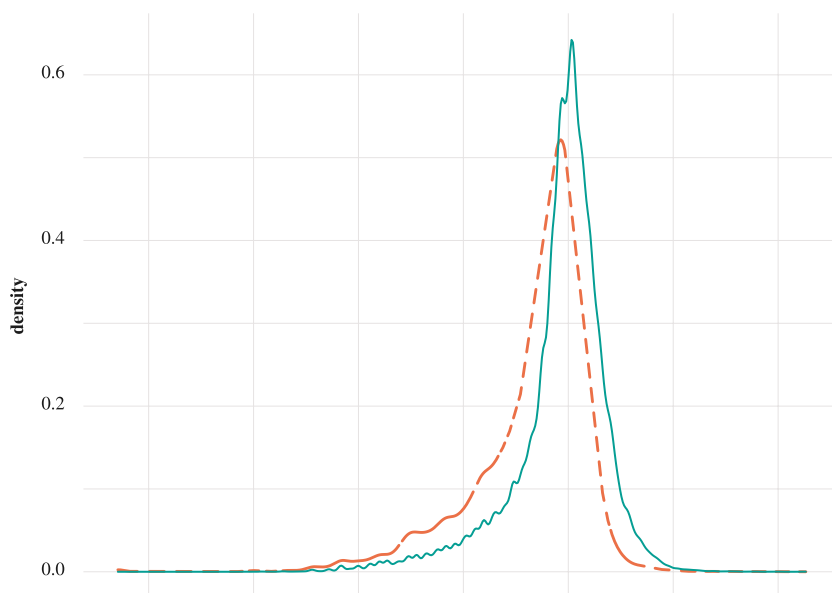


Figure 6
Kernel densities Log Wages for Indigenous (Language) vs Non-Indigenous, 2022

Ln Earnings from Work 2022 – Indian (Language) vs Nonindian



Note: the red dashed line is the distribution of indigenous workers' wages. Heckman regression was used to correct for selection in the sample.

Source: own estimates using the data from the Mexican National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2010 and 2022.

As explained before, our objective is to find out whether the distribution of wages for indigenous people has improved over recent time (becoming less unequal). One way to observe this is to estimate the Gini index at two points in time and pay attention to subgroups that are representative of the population under analysis. Usually, the Indigenous population is confined to rural communities, with many individuals working as manual laborers and in the agriculture sector. Table 3 shows the Gini index by occupations for both indigenous and non-indigenous workers. There is a decrease in wage inequality for both types of workers and most occupations, with the only exceptions being managers and indigenous technical workers. The Wasserstein distance was estimated for all occupations to confirm the magnitude of the change, with the indigenous workers experiencing the largest changes in labor income inequality compared to non-indigenous workers. For example, indigenous workers in agriculture jobs experienced the largest decrease in income inequality, followed by those in professional jobs. But the largest change (increase) was for indigenous workers in management positions, but only few indigenous workers hold positions of responsibility in México. Therefore, most of the improvement in the distribution of wages for indigenous people may come from those working in the agriculture sector.

But overall, all workers in México have seen a decrease in wage inequality from 2010 to 2022 and an increase in real wage income. For example, in the year 2010, the real mean wage income was \$19,306, at 2018 prices, and in 2022, the mean wage was about \$21,941 pesos. The real median income was \$12,947 in 2010 and twelve years later became \$16,741, which means that the gap is more than a thousand pesos less in 2022.

Table 3
Gini and Wasserstein distance for Indigenous and Non-indigenous workers, 2010 and 2022

	<i>Indigenous</i>			<i>Non-indigenous</i>		
	<i>Gini 2010</i>	<i>Gini 2022</i>	<i>W. distance</i>	<i>Gini 2010</i>	<i>Gini 2022</i>	<i>W. distance</i>
Managers	0.40	0.44	0.15	0.46	0.45	0.04
Professionals	0.42	0.32	0.10	0.42	0.37	0.02
Technician	0.28	0.33	0.06	0.36	0.32	0.06
Clerical	0.52	0.42	0.02	0.51	0.44	0.01
Sales	0.41	0.33	0.04	0.42	0.38	0.03
Agriculture	0.63	0.40	0.11	0.55	0.45	0.02
Trades	0.52	0.37	0.02	0.41	0.35	0.02
Operators	0.35	0.31	0.05	0.34	0.31	0.05
Labor work	0.43	0.39	0.01	0.40	0.36	0.03
Total	0.51	0.39	0.04	0.48	0.40	0.03

Source: own estimates using the data from Mexican National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2010 and 2022.

Overall, wage inequality is decreasing from the year 2010 to 2022, with major changes for indigenous workers. The wage distributions of both types of workers are getting similar, and indigenous workers are increasing their participation in occupations that require higher education and training. Wage income is now better distributed, but the gap between non-Indigenous and Indigenous people is still important. For example, using the ENIGH of 2020, the mean wage was \$19,038.05 Mexican pesos for the non-Indigenous workers

and \$12,879.42 for the Indigenous workers, and the wage gap was \$6,158.63 pesos. Table 4 shows the three-fold Oaxaca-Blinder decomposition, showing that \$1,559.12 can be explained by the different individual endowments and \$3,772.44 can only be explained by other factors such as discrimination, among other things.

Table 4
Mean Wages and Wages gap using three-fold Oaxaca decomposition, 2020

<i>Group</i>	<i>Mean Income</i>	<i>3-Fold decomposition due to:</i>	<i>Mean Income</i>
Non-Indigenous	\$19,038.05	Endowments	\$1,559.12 (134.58)
Indigenous	\$12,879.42	Coefficients	\$3,772.44 (252.12)
Total wage Gap	\$6,158.63	Interaction	\$827.07 (188.28)
		Total Wage Gap	\$6,158.63
The R package “Oaxaca” was used to estimate the decomposition by Hlavac (2014).			

Source: own estimates using the data from Mexican National Survey of Household Income and Expenditure (ENIGH) 2020.

Most of this unexplained part of the wage differential between indigenous and non-indigenous can be attributed to experience (age) and the condition of the employee, while the explained part can be attributed mainly to university education. Figures 7 and 8 show the main features used for estimating the wage gap between indigenous and non-indigenous workers in México using the Oaxaca-Binder decomposition. The covariate that better describes the unexplained part of the income gap is age as a proxy of job market experience and seniority.

Figure 7
Three-fold decomposition of labor earnings Indigenous vs Non-Indigenous, 2020

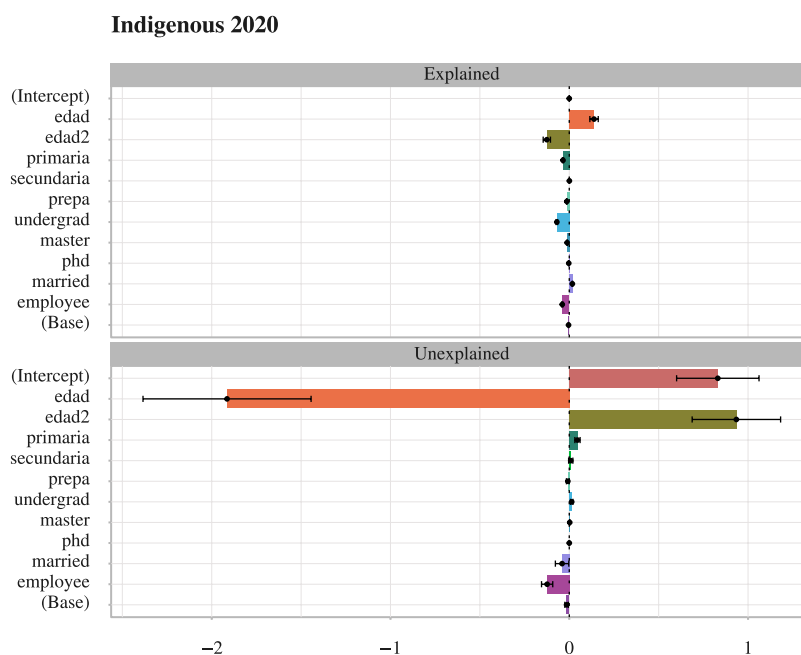
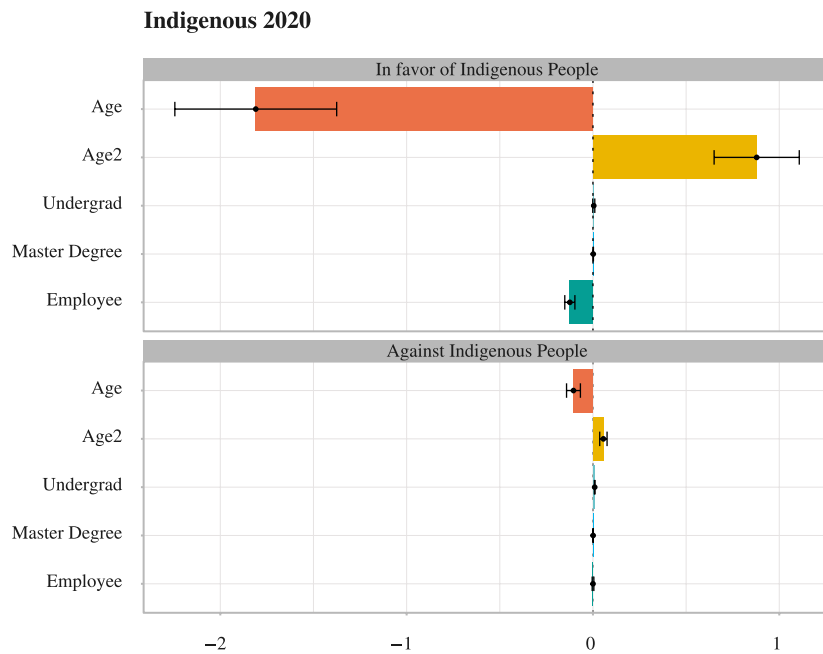


Figure 8
Factors against and in favor of Indigenous workers, 2020



Source: this methodology Reimers (1983) and packages R of Oaxaca Hlavec (2014).

The Oaxaca-Blinder decomposition uses the mean wage of both groups to calculate the wage gap, using linear regression for estimation. However, using the mean wage as a reference may not be the better choice, as wage data has many clusters and groups of workers with different characteristics. This data has serious problems of heteroscedasticity, and the wage gap may be overestimated for some workers and underestimated for others. Things are complicated because the income data is usually not normal and become more skewed when analyzing some subsets or groups in the data.

Following this argument, quantile regressions were performed to observe the effect of wages between indigenous and non-indigenous workers without considering the mean wage as the reference. For example, a median regression (quantile=0.5) on wages proves to be a better model than the OLS (lower AIC or less loss of information). Figures 9 and 10 show the median regression estimates for years 2010 and 2022, with changes in real wages at 2018 prices.

From Figures 9 and 10 it can be observed that differences in estimates are important, especially in terms of occupations. Using the median model, it can be observed that the drop in wages for being an indigenous worker was \$2,300 real pesos in 2010 and \$1,603 in 2022, compared to the non-Indigenous, everything else constant. If the linear model is used, it will appear that the indigenous wage gap is increasing instead of decreasing, which is not correct. Figures 11 and 12 in the appendix show the confidence intervals (CI) for the indigenous variable. The CI for the 2010 data shows that the linear model may explain in the middle and upper wages in the distribution, but the CI for the 2022 data shows that the quantile regression is a better fit, as wages cannot be explained by the linear model.

Figure 9
Linear vs Quantile Wage regression, 2010

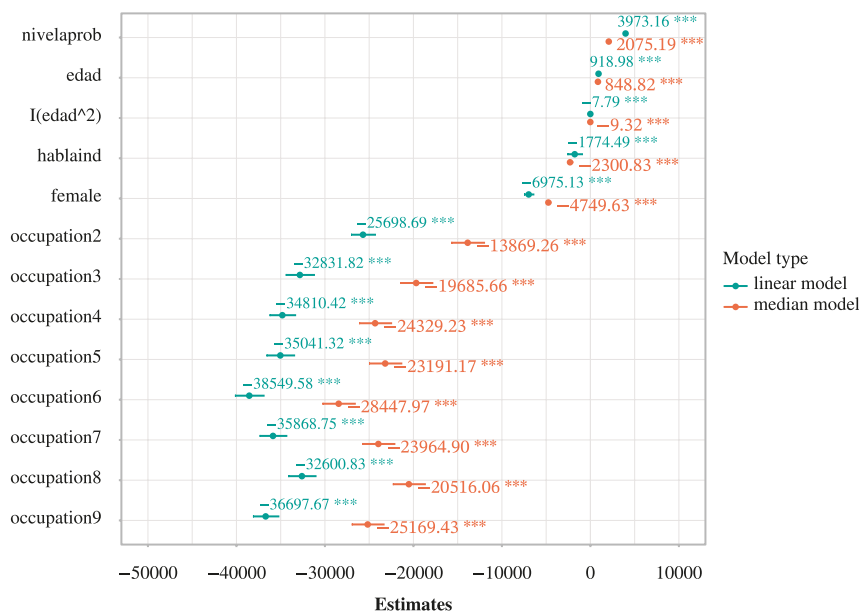
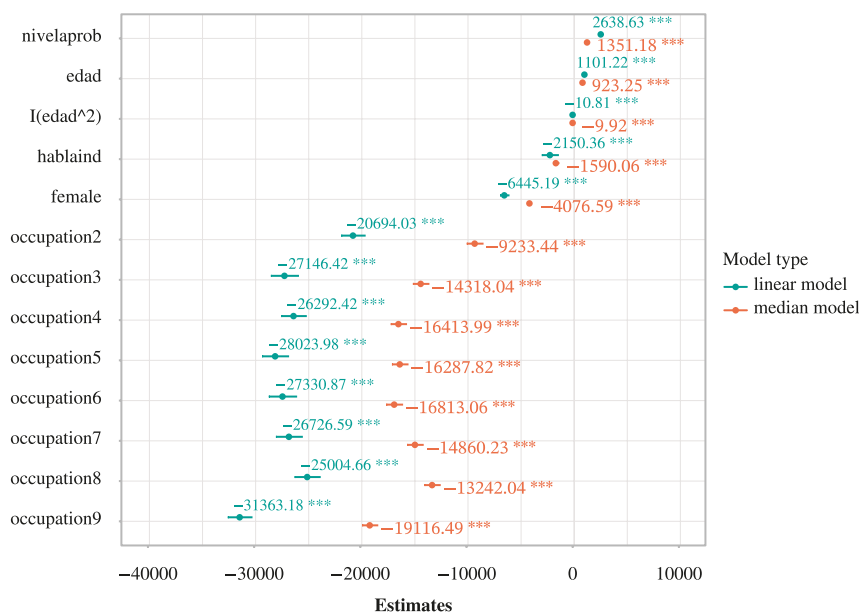


Figure 10
Linear vs Quantile Wage regression, 2022



Note: Estimates in blue are from the OLS model and in red are from a quantile regression. Estimates are changes in real wages of 2018. The estimates by occupations are negative because the benchmark is Managers = occupation1. The R code used to estimate the quantile regression was from yuzaR Data Science (2022, Dec 22).

Source: own estimates using the data from the Mexican National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH) 2010 and 2022.

But the OLS and quantile regression estimates only show a partial view of reality, taking as reference some benchmark workers, because the effect on wages for being a native or indigenous is different along the distribution. For example, in previous Figure 6 it can be observed that the right tail in the kernel for indigenous workers is above that of non-indigenous workers and in the Lorenz curves in Figure 2 only indigenous workers on the highest quantiles cross the Lorenz curve of non-indigenous workers. Therefore, running a regression for the lower 20% quantile for the year 2022, which represents the indigenous workers with the lowest wages, the finding is a higher earnings loss due to their condition as indigenous people. The estimates for 50% and 80% quantiles in Table 5 and Table 6 in the appendix show that the effect on wages due to the indigenous variable is less in the year 2022, which implies that mostly indigenous workers in the upper part of the distributions improved their labor income.

CONCLUSIONS

Being an indigenous worker in México means that wages will generally be less than those of non-indigenous workers. The typical models of labor discrimination also confirm that ethnicity negatively affects wages in a similar way gender (female) does. The major difference is that, in recent years, there have been some policies, though inconsistent in their instrumentation, directed to improve labor conditions for female workers, such as demanding the same level of political representation, but nothing has been delivered to indigenous people in terms of better access to job market opportunities. One reason might be the practice of “blending,” “admixture,” or “assimilation,” in which the indigenous population is slowly becoming less and less indigenous, adopting urban and mestizo style values and standards of living.

Non-indigenous workers’ wage distribution dominates entirely and completely the indigenous one. However, the distribution of wages for both types of workers is similar in recent years. Still, the Oaxaca-Blinder decomposition shows that the wage differential is driven by the unexplained part and, although it cannot be blamed only on ethnic discrimination, although there is support in the literature that ethnic discrimination is one of the main forces behind lower wages and fewer opportunities for indigenous workers (e.g. Canedo, 2019).

Overall wage inequality is decreasing in México, and the largest decrease comes from indigenous workers compared to non-indigenous workers. But not all indigenous workers benefit from these improvements, as the major gains are for those in the middle and left tail of the distribution, which are the “better off”. Perhaps a good public policy may be to increase transfers to low-income indigenous workers and households.

This analysis also found that the unexplained part of the wage gap between indigenous and non-indigenous workers is due to experience (age) and, to a lesser degree, undergraduate education. Perhaps a good public policy might be to offer job opportunities and access to certain public goods, such as education, based on minority clauses (being an indigenous person). Although it seems that the indigenous population may become assimilated with the rest of the population within the normal process of urban and economic development.

REFERENCES

- Ahmad, A. (2020). When the name matters: An experimental investigation of ethnic discrimination in the Finnish labor market. *Sociological Inquiry*, 90(3), 468–496. <https://doi.org/10.1111/soin.12276>
- Caicedo, M. (2009). Desigualdad salarial en el mercado laboral estadounidense: La situación de los inmigrantes mexicanos, cubanos y centroamericanos. *Gaceta Laboral*, 15(2), 5–31.
- Canedo, A. (2019). Labor market discrimination against indigenous peoples in México: A decomposition analysis of wage differentials. *Iberoamericana-Nordic Journal of Latin American and Caribbean Studies*, 48(1), 12–27. <https://doi.org/10.16993/iberoamericana.433>
- Cano, J. & Mason, P. (2016). Acculturation and the labor market in México. *IZA Journal of Labor Policy*, 5(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s40173-016-0077-6>
- Di Stasio, V. & Larsen, E. (2020). The racialized and gendered workplace: applying an intersectional lens to a field experiment on hiring discrimination in five European labor markets. *Social Psychology Quarterly*, 83(3), 229–250. <https://doi.org/10.1177/0190272520902994>
- Flores, R. & Telles, E. (2012). Social stratification in México: Disentangling color, ethnicity, and class. *American Sociological Review*, 77(3), 486–494. <https://doi.org/10.1177/0003122412444720>
- Heckman, J. J. (1979). Sample selection bias as a specification error. *Econometrica*, 47(1) 153–161. <https://doi.org/10.2307/1912352>
- Hlavec, M. (2014). *Oaxaca: Blinder-Oaxaca decomposition in R*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2528391>
- INEGI. (2010). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020: ENIGH: serie anterior, nueva construcción*. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2010/#microdatos>
- INEGI. (2020). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020: ENIGH: nueva serie*. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/>
- INEGI. (2022). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020: ENIGH: nueva serie*. México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/>
- Jarvis, D., Stoeckl, N., Hill, R. & Pert, P. (2018). Indigenous land and sea management programs: Can they promote regional development and help “close the (income) gap”? *Australian Journal of Social Issues*, 53(3), 283–303. <https://doi.org/10.1002/ajs4.44>
- Luz-Tovar, C. D. L. & Samario-Zarate, J. (2023). The effect of ethnicity on the mexican labor market: an analysis of wage discrimination in the indigenous population. *Contaduría y administración*, 68(2). 1–27. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2023.4649>
- Navarrete, J. C. (2013). Poverty Dynamics in México, 2002–2005. An Ethnicity Approach. *Brazilian Review of Econometrics*, 33(1), 69–89. <https://doi.org/10.12660/bre.v33n12013.8944>
- Ñopo, H. (2008). Matching as a tool to decompose wage gaps. *The review of economics and statistics*, 90(2), 290–299. <https://doi.org/10.1162/rest.90.2.290>
- Ñopo, H., Daza, N. & Ramos, J. (2011). Gender earnings gaps in the world (5736). *IZA Discussion Papers*.
- Oaxaca, R. (1973). Male-female wage differentials in urban labor markets. *International Economic Review*, 14(3), 693–709. <https://doi.org/10.2307/2525981>
- Pérez, R. E. R. & Martínez, D. V. (2022). Desigualdad salarial por tipo de calificación laboral de los mexicanos inmigrantes en Estados Unidos. *Lecturas de Economía*, (97), 217–254. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n97a345715>
- Psacharopoulos, G. & Patrinos, H. A. (1994). Indigenous people and poverty in Latin America. *Finance & Development*, 31(1). 41–43.

- Reimers, C. W. (1983). Labor market discrimination against Hispanic and black men. *The review of economics and statistics*, 65(4), 570–579. <https://doi.org/10.2307/1935925>
- Servan, E., Torres, P., Orozco, E. & Sosa, S. (2014). An explanatory analysis of economic and health inequality changes among Mexican indigenous people, 2000-2010. *International Journal for Equity in Health*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1475-9276-13-21>
- Solis, P., Krozer, A., Arroyo C. & Güémez B. (2019). *Ethnic/racial discrimination in México: A taxonomy of discrimination practices*. Centro de estudios Sociológicos. El Colegio de México.
- Stabridis, O. & Salgado-Viveros, C. (2023). Effects of Gender and ethnicity on the Wage Gap Among Farmworkers in Northwestern México. *Frontera Norte*, 35, 1-28. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2339>
- Villarreal, A. (2010). Stratification by skin color in contemporary México. *American Sociological Review*, 75(5), 652–678. <http://www.jstor.org/stable/20799484>
- yuzaR Data Science (2022). *Quantile regression as the most useful alternative for ordinary linear regression* [Video] https://www.youtube.com/watch?v=Gtz8ca_4hVg&t=600s

APPENDIX

Figure 11
Confidence interval Linear vs Quantile Wage regression, 2010

Confidence Intervals for Indigenous (by language): Linear vs Quantile

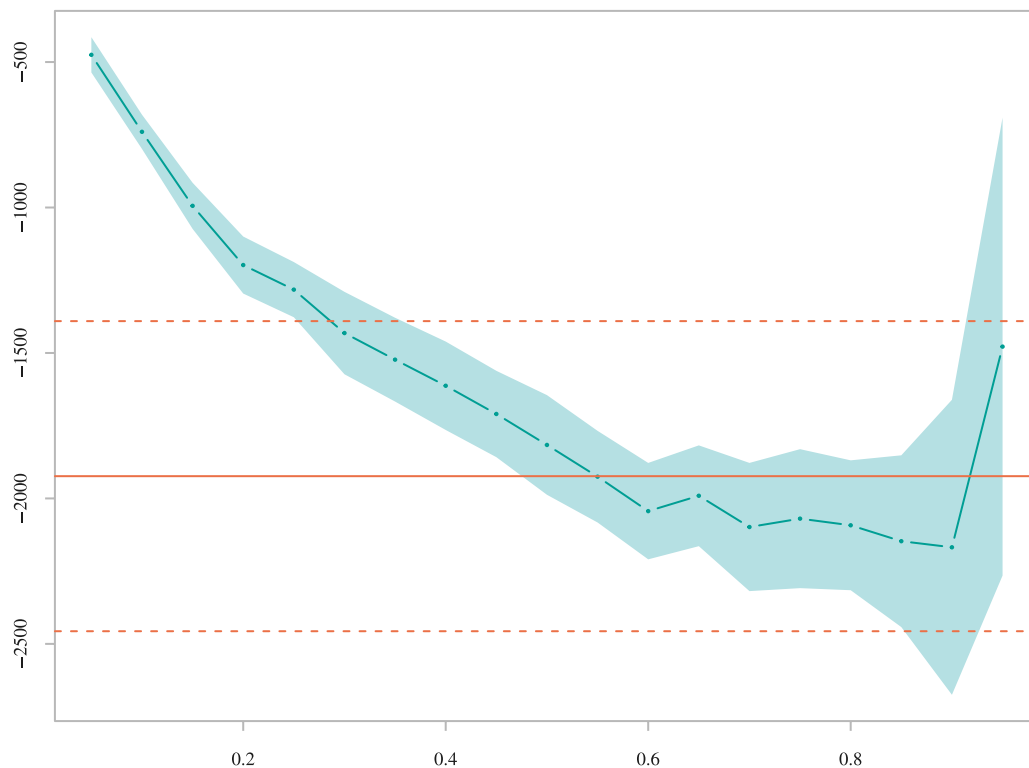
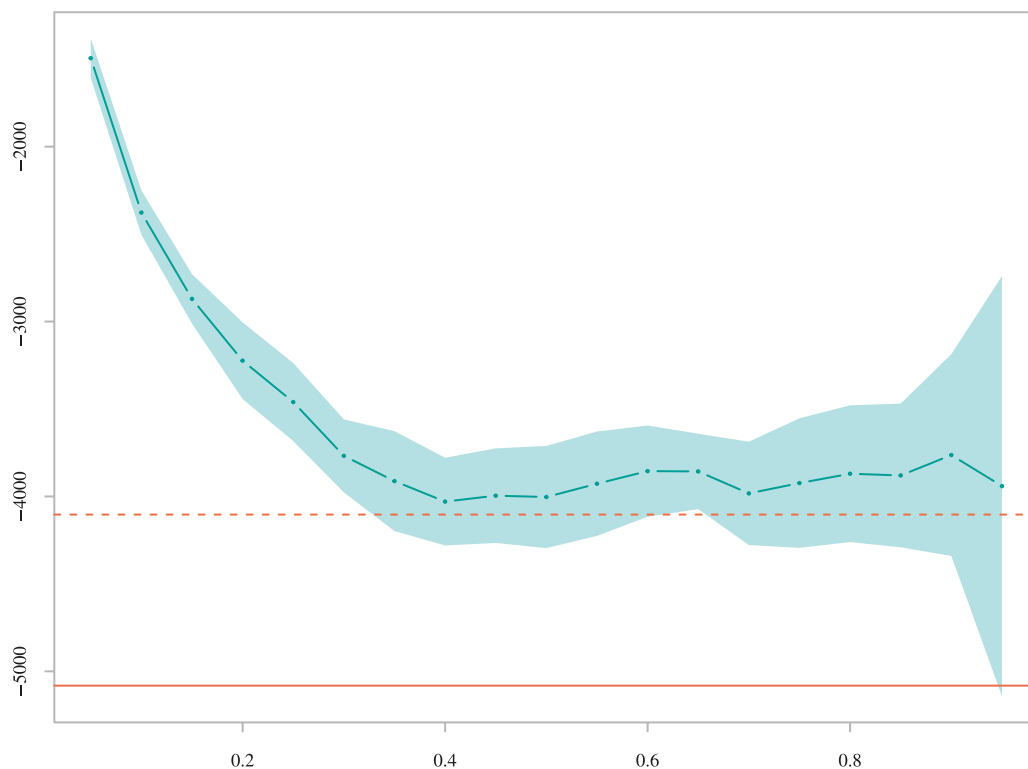


Figure 12
Confidence interval Linear vs Quantile Wage regression, 2022

Confidence Intervals for Indigenous (by language): Linear vs Quantile



Note: estimates in blue are from the OLS model and in red are from a Quantile regression. Estimates are changes in real wages of 2018.

Source: own estimates using the data from the Mexican National Household Income and Expenditure Survey (ENIGH) 2010 and 2022.

Table 5
Estimates for Linear vs 20%, 50% and 80% Quantile Wage regressions, 2010

Characteristic	OLS			QR 20%			QR 50%			QR 80%		
	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value
Education	3,973	3,809, 4,138	<0.001	1,110	1,044, 1,175	<0.001	2,075	1,986, 2,164	<0.001	3,849	3,719, 3,978	<0.001
Age	919	799, 1,039	<0.001	657	626, 688	<0.001	849	801, 896	<0.001	920	839, 1,001	<0.001
Age^2	-7.8	-9.3, -6.2	<0.001	-7.4	-7.8, -7.0	<0.001	-9.3	-10, -8.7	<0.001	-8.8	-9.9, -7.7	<0.001
Indigenous	-1,774	-2,601, -948	<0.001	-1,556	-1,731, -1,380	<0.001	-2,301	-2,570, -2,032	<0.001	-1,910	-2,316, -1,505	<0.001
Female	-6,975	-7,505, -6,445	<0.001	-3,491	-3,652, -3,331	<0.001	-4,750	-4,983, -4,517	<0.001	-6,744	-7,092, -6,395	<0.001

Occupation:

1. Managers	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Professionals	-25,699	-27,055, -24,343	<0.001	-8,350	-9,723, -6,977	<0.001	-13,869	-15,720, -12,018	<0.001	-32,622	-37,441, -27,804	<0.001
3. Technicians	-32,832	-34,427, -31,237	<0.001	-9,364	-10,704, -8,023	<0.001	19,686	-21,510, -17,861	<0.001	-44,984	-49,735, -40,233	<0.001
4. Clerical	-34,810	-36,254, -33,367	<0.001	-14,716	-16,022, -13,410	<0.001	-24,329	-26,140, -22,519	<0.001	-47,122	-51,853, -42,391	<0.001
5. Sales	-35,041	-36,062, -33,481	<0.001	-13,327	-14,676, -11,978	<0.001	-23,191	-25,016, -21,366	<0.001	-46,856	-51,600, -42,112	<0.001
6. Agriculture	-38,550	-40,171, -36,296	<0.001	-17,691	-19,005, -16,376	<0.001	-28,448	-30,275, -26,621	<0.001	-51,828	-56,579, -47,077	<0.001
7. Trades	-35,869	-37,377, -34,360	<0.001	-14,198	-15,523, -12,872	<0.001	-23,965	-25,779, -22,151	<0.001	-48,233	-52,958, -43,508	<0.001
8. Operators	-32,601	-34,142, -31,059	<0.001	-9,775	-11,099, -8,451	<0.001	-20,516	-22,327, -18,705	<0.001	-44,859	-49,596, -40,123	<0.001
9. General Labor	-36,698	-38,134, -35,262	<0.001	-14,597	-15,904, -13,291	<0.001	-25,169	-26,970, -23,369	<0.001	-49,737	-54,461, -45,013	<0.001

CI is Confidence Interval.

The negative coefficients in each occupation type represent how much less is paid in pesos of 2018 taking as benchmark the “Managers”.

Source: own estimations.

Table 6
Estimates for Linear vs 20%, 50% and 80% Quantile Wage regressions, 2022

Characteristic	OLS			QR 20%			QR 50%			QR 80%		
	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value	Beta	95% CI	p-value
Education	2,634	2,506, 2,762	<0.001	793	746, 840	<0.001	1,346	1,297, 1,395	<0.001	2,578	2,493, 2,662	<0.001
Age	1,107	1,015, 1,199	<0.001	875	847, 902	<0.001	916	887, 945	<0.001	961	913, 1,009	<0.001
Age^2	-11	-12, -9.7	<0.001	-9.7	-10, -9.3	<0.001	-9.9	-10, -9.5	<0.001	-9.4	-10, -8.8	<0.001
Indigenous	-2,068	-2,826, -1,310	<0.001	-2,023	-2,289, -1,756	<0.001	-1,603	-1,856, -1,351	<0.001	-902	-1,342, -463	<0.001
Female	-6,445	-6,845, -6,045	<0.001	-3,425	-3,558, -3,291	<0.001	-4,102	-4,232, -3,971	<0.001	-5,741	-5,963, -5,519	<0.001

Occupation:

1. Managers	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Professionals	-20,668	-21,771, -19,566	<0.001	-6,062	-6,710, -5,414	<0.001	-9,261	-10,018, -8,504	<0.001	-21,235	-23,454, -19,016	<0.001
3. Technicians	-27,139	-28,416, -25,862	<0.001	-7,792	-8,435, -7,148	<0.001	-14,361	-15,106, -13,616	<0.001	-30,898	-33,102, -28,694	<0.001
4. Clerical	-26,273	-27,434, -25,111	<0.001	-10,911	-11,552, -10,270	<0.001	-16,645	-17,379, -15,910	<0.001	-31,166	-33,364, -28,967	<0.001
5. Sales	-28,024	-29,247, -26,801	<0.001	-10,720	-11,376, -10,065	<0.001	-16,438	-17,182, -15,694	<0.001	-31,540	-33,744, -29,336	<0.001
6. Agriculture	-27,330	-28,617, -26,043	<0.001	-13,053	-13,739, -12,367	<0.001	-17,100	-17,860, -16,341	<0.001	-31,773	-33,990, -29,556	<0.001
7. Trades	-26,698	-27,920, -25,476	<0.001	-9,865	-10,519, -9,212	<0.001	-15,052	-15,804, -14,300	<0.001	-29,784	-31,992, -27,576	<0.001
8. Operators	-25,006	-26,188, -23,823	<0.001	-7,079	-7,717, -6,442	<0.001	-13,318	-14,053, -12,583	<0.001	-29,291	-31,483, -27,100	<0.001
9. General Labor	-31,359	-32,477, -30,242	<0.001	-12,977	-13,604, -12,351	<0.001	-19,204	-19,929, -18,479	<0.001	-35,965	-38,146, -33,784	<0.001

CI is Confidence Interval.

The negative coefficients in each occupation type represent how much less is paid in pesos of 2018 taking as benchmark the “Managers”.

Source: own estimations.

Desigualdades educativas intra-provinciales: un análisis de *clúster* para la provincia de La Rioja, Argentina (2022)

Intra-provincial educational inequalities: a cluster analysis of La Rioja province, Argentina (2022)

Ernesto Gabriel Pizarro Levi* y Germán Oscar Antequera**

*Universidad Nacional de Chilecito.

Correo electrónico: epizarro@undec.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3756-6940>

**Universidad Nacional de Chilecito.

Correo electrónico: gantequera@undec.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2623-9824>

RESUMEN

El presente trabajo pretende analizar las desigualdades educativas en el nivel secundario de la provincia de La Rioja, enfocándose en la indagación de las disparidades existentes a escala departamental. Particularmente, se busca identificar las desigualdades educativas en sus dimensiones de acceso y permanencia, calidad y rendimiento, entorno y condición socioeconómica de los estudiantes. La metodología empleada consiste en un análisis de *clústers* jerárquicos, utilizando datos provenientes de pruebas educativas estandarizadas y del Censo Nacional. Los resultados muestran disparidades importantes en las dimensiones inquiridas, con departamentos agrupados en conglomerados de diferentes niveles de desigualdad. Finalmente, se enfatiza en la importancia de abordar las particularidades locales educativas para diseñar intervenciones más efectivas.

ABSTRACT

This study aims to analyze educational inequalities at the secondary school level in the province of La Rioja, with a particular focus on disparities at the departmental level. Specifically, it examines inequalities across dimensions such as access and retention, educational quality and performance, and the socioeconomic conditions and environments of students. The methodology involves hierarchical cluster analysis based on data from standardized educational assessments and the National Census. The findings reveal significant disparities across the examined dimensions, with departments grouped into clusters that reflect varying levels of inequality. The study concludes by emphasizing the importance of addressing local educational specificities to design more effective and context-sensitive interventions.

Recibido: 04/diciembre/2024

Aceptado: 25/junio/2025

Publicado: 12/enero/2026

Palabras clave:

| Desigualdad educativa |
| Análisis de *clúster* |
| Educación secundaria |
| Territorio | Asimetrías
territoriales |

Keywords:

| Educational inequality |
| Cluster analysis |
| Secondary Education |
| Territory | Territorial
asymmetries |

Clasificación JEL |

JEL Classification |

D6, D63, I, I2, I21, H75

INTRODUCCIÓN

La desigualdad socioeconómica es un rasgo estructural profundamente arraigado en América Latina. A lo largo de las dos primeras décadas del siglo XXI, los países de la región han emprendido importantes esfuerzos para reducir estas brechas, y la República Argentina no ha sido ajena a esta tendencia. Sin embargo, a pesar de los avances significativos en la reducción y erradicación de algunas desigualdades, muchas de ellas han logrado persistir e incluso reproducirse con el tiempo, adoptando formas cada vez más complejas



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

y difíciles de identificar con claridad [Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019; Murillo y Martínez-Garrido, 2018; Abeles y Villafañe, 2022; Pizarro, 2024].

En el ámbito educativo, durante gran parte de las décadas del 2000 y del 2010, Argentina ha conducido diversas políticas destinadas a promover la igualdad de oportunidades en el acceso a la educación. Estas acciones se enfocaron especialmente en reducir las brechas y fomentar la inclusión en todos los niveles, con un énfasis particular en la educación del nivel medio o secundario (Krüger, 2019; Herger y Sassera, 2022; Krüger y Formichella, 2024). Los esfuerzos orientados a garantizar el acceso a la educación y la igualdad de oportunidades parecen haber abordado solo una parte de un problema mucho más amplio, sin lograr eliminar por completo muchas de las desigualdades persistentes.

Como señalan Krüger (2019) y Delprato y Antequera (2025), las desigualdades educativas se evidencian no solo en el acceso a la educación, sino también en la permanencia de los alumnos en la escuela. En los últimos años, el cambio de escenario que atraviesa el país ha despertado un renovado interés, tanto en la comunidad académica como en la sociedad en general, por las inequidades educativas y sus implicancias. Esta problemática, empero, resulta mucho más compleja, ya que no se limita únicamente a garantizar la igualdad de oportunidades en sentido estricto, sino que también involucra la continuidad de los estudios, el desempeño académico y la culminación de los ciclos educativos por parte de los estudiantes (Krüger, 2019; Krüger y Formichella, 2024).

El carácter multifacético de este escenario refleja la influencia de diversos factores, como los sociales, económicos, demográficos y tecnológicos. En el ámbito latinoamericano, Delprato *et al.* (2015) y Delprato y Antequera (2025) destacan la estrecha relación entre la inequidad educativa, los perfiles socioeconómicos de los estudiantes y las características de sus entornos escolares. Particularmente, en el caso de la Argentina, investigaciones como las de Krüger (2013, 2014) y Gasparini *et al.* (2011) confirman esta conexión, evidenciando cómo dichos factores no solo condicionan las oportunidades educativas, sino también los resultados académicos. La desigualdad, al ser un fenómeno dinámico y multidimensional, se encuentra marcada por las particularidades de cada contexto y sistema educativo (Krüger, 2019). En este sentido, las inequidades observadas a nivel nacional también se reproducen al interior de los países, manifestándose con diferentes matices entre sus regiones y jurisdicciones.

Esta realidad subraya la necesidad de analizar el fenómeno en escalas territoriales más pequeñas, donde emergen marcadas asimetrías intrarregionales e intra provinciales (Pizarro, 2024; Herger y Sassera, 2022). En este contexto, el enfoque territorial resulta fundamental para entender las disparidades provinciales dentro de la República Argentina. Dichas asimetrías conllevan desigualdades en la distribución y disponibilidad de recursos (materiales e inmateriales) en los distintos territorios. De hecho, existe una estrecha relación entre la desigualdad estructural-territorial y la desigualdad educativa, lo que genera notorias disparidades sociales no solo en el acceso y la igualdad de oportunidades, sino también en la permanencia y culminación de la formación educativa específica, particularmente a nivel secundario (Herger y Sassera, 2022).

Según Krüger y Formichella (2024) y Sassera (2022), las investigaciones a escalas territoriales menores, como el departamental o local, permiten explorar las características específicas de cada lugar, comprendiendo de manera más profunda el sistema educativo y su relación con las condiciones socioeconómicas del medio. En este sentido, un análisis de las desigualdades educativas en la provincia de La Rioja es especialmente relevante, ya que, aunque se ha trabajado ampliamente sobre inequidades estructurales en términos socio-productivos y tecnológicos, su estudio en el ámbito de la educación es casi inexistente.

La provincia de La Rioja, ubicada en la región Noroeste de la Argentina (NOA), registró durante el segundo semestre de 2022 una tasa de pobreza en los hogares del 34,6%, mientras que un 5,3% de las familias se encontraba por debajo de la línea de indigencia. En cuanto a la pobreza, la provincia supera la media

nacional (29,6%), aunque en términos de indigencia se ubica por debajo del promedio país (6,2%) [Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), 2022]. En el ámbito educativo, durante el mismo año, la tasa de repitencia en la educación secundaria fue del 2,2%, y la tasa de no promovidos alcanzó el 7,7%, ambas por debajo de los promedios nacionales, que se sitúan en 5,7% y 13,4%, respectivamente. Sin embargo, la tasa de sobreedad en el nivel secundario fue del 22,7%, ligeramente inferior a la media nacional de 22,8%. En cuanto al desempeño académico, en 2022 el 10,8% y el 38,33% de los estudiantes riojanos alcanzaron niveles avanzados y satisfactorios en lengua, mientras que el 28,3% se encontraba por debajo del nivel básico. En matemática, los resultados fueron aún más preocupantes: solo el 8,88% de los estudiantes lograron un nivel satisfactorio, y apenas el 0,05% alcanzó un nivel avanzado (APRENDER, 2022). Por otro lado, en 2018, La Rioja ocupó el puesto 23 de 24 jurisdicciones en términos de recursos monetarios totales invertidos en educación secundaria [Ministerio de Capital Humano (MCH), 2024].¹

Respecto al desempeño en lengua y matemáticas, se observan disparidades de género. En lengua, el 24,66% de las mujeres se encuentra por debajo del nivel básico, el 23% alcanza el nivel básico, el 40,28% logra un nivel satisfactorio y el 12,6% llega al nivel avanzado. Por su parte, entre los varones, el 29,94% está por debajo del nivel básico, el 20,74% en el nivel básico, el 38,77% alcanza el nivel satisfactorio y el 10,56% llega al nivel avanzado. En matemáticas, la situación resulta aún más crítica. Entre las mujeres, el 67,75% está por debajo del nivel básico, el 25,69% alcanza el nivel básico, y solo el 6,56% logra un nivel satisfactorio, sin que se registre ninguna estudiante en el nivel avanzado. En el caso de los varones, el 58,26% se encuentra por debajo del nivel básico, el 28,35% en el nivel básico, el 13,34% alcanza el nivel satisfactorio, y apenas el 0,05% logra un nivel avanzado. Estas estadísticas evidencian la urgencia de realizar un análisis más profundo de las disparidades educativas en la provincia, no solo en términos de acceso, sino también respecto a la calidad de la educación y el rendimiento de los estudiantes secundarios (APRENDER, 2022).²

Así, el presente trabajo tiene como objetivo analizar las desigualdades educativas en el nivel secundario de La Rioja desde una perspectiva multidimensional, abarcando dimensiones clave como el acceso, la permanencia, la calidad, el rendimiento y las condiciones socioeconómicas de los 18 departamentos de la provincia. Específicamente, se pretende identificar y analizar las desigualdades en el acceso a la educación secundaria, considerando las barreras territoriales y socioeconómicas que limitan la participación escolar. Además, se examinan las tasas de permanencia, deserción y repitencia escolar, para evaluar los factores que afectan la retención y promoción de los estudiantes. Se presta especial atención al rendimiento académico en lengua y matemáticas, evaluando cómo las condiciones de infraestructura y recursos influyen en los resultados escolares. Del mismo modo, se explora la relación entre las condiciones socioeconómicas, como la pobreza y el acceso a recursos, y el desempeño educativo.

La metodología empleada se basa en herramientas estadísticas multivariadas, cimentada en el análisis de *clúster* jerárquicos, que facilita la identificación de grupos de departamentos con características educativas similares (Jara y Oda, 2014; Espadoto *et al.*, 2021). Para ello, se emplea el método de Ward, utilizando la distancia euclidiana como medida de similitud para evaluar la homogeneidad dentro de los grupos. De manera complementaria, se aplican herramientas estadísticas como la Correlación Cofenética y la prueba de Davies-Bouldin para evaluar la calidad de los agrupamientos, y para detectar posibles diferencias significativas dentro de los *clústers* formados, se recurre al análisis de Kruskal-Wallis (Ostertagova *et al.*, 2014).

1. MCH: <https://www.argentina.gob.ar/educacion-en-datos>

2. APRENDER (2022): <https://data.educacion.gob.ar/aprender>

Bajo esta perspectiva, se explora la hipótesis de que las desigualdades educativas en el nivel secundario de La Rioja no son homogéneas en el territorio provincial, sino que presentan patrones diferenciados que responden a factores socioeconómicos y territoriales. En efecto, comprender estas dinámicas permitirá avanzar hacia investigaciones más contextualizadas, equitativas y efectivas que expliquen de manera sustancial las brechas dentro del sistema educativo riojano, con un enfoque que no solo busca identificar disparidades, sino también aportar evidencia sólida para la toma de decisiones en el ámbito educativo de la provincia.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. Luego de esta introducción, se expone una revisión de la literatura especializada, tanto teórica como empírica, sobre el problema en cuestión. En la segunda sección, se exponen la estrategia metodológica, los datos y las diferentes técnicas estadísticas empleadas para el estudio. En la tercera sección, se plasman los resultados obtenidos y, en la sección cuarta, se presenta la discusión de los resultados. Por último, se exponen las reflexiones finales.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Desde los comienzos de la economía como ciencia social, los economistas han buscado identificar los factores que explican el crecimiento y el desarrollo de los países, superando la explicación basada únicamente en los factores productivos convencionales (tierra, capital y trabajo) (Morduchowicz, 2004). En este contexto, las Teorías del Capital Humano, surgidas a mediados del siglo XX jugaron un papel fundamental al reconocer a la educación como un factor clave para el desarrollo económico. La misma es considerada como una inversión fundamental en la formación humana para mejorar la productividad y el bienestar social (Marchionni *et al.*, 2019).

En la década de 1960, Schultz (1961) introdujo el concepto de capital humano en la teoría económica, argumentando que la educación mejora la productividad de las personas, favorece el crecimiento económico y genera beneficios sociales. Posteriormente, Becker (1964) profundizó esta visión, sosteniendo que los individuos invierten en su formación del mismo modo en que las empresas invierten en maquinaria o tecnología, esperando rendimientos en forma de mayores ingresos. A partir de aquí, Mincer (1974) amplió la teoría, incorporando la dimensión del ciclo de vida y relacionando los ingresos de los trabajadores con sus años de educación y experiencia laboral.

Si bien la teoría del capital humano aportó una base sólida para entender el vínculo entre educación y crecimiento económico, los enfoques críticos que emergieron en décadas posteriores [como la teoría de la segmentación, la teoría de colas y las críticas de autores como Bowles y Gintis (1985) respecto a la función de la educación en la reproducción de desigualdades] pusieron en evidencia que esta relación es más compleja de lo que se había planteado inicialmente. A pesar del gran impulso que dio el capital humano al análisis económico, con el tiempo comenzaron a consolidarse perspectivas que cuestionaban su capacidad para explicar plenamente las desigualdades educativas y los resultados laborales. Estas tensiones conceptuales no solo evidencian las limitaciones de la teoría del capital humano, sino que también señalaron la necesidad de incorporar dimensiones sociales y estructurales en el análisis de la educación. Esta nueva rama de la economía integró no solo los aportes clásicos, sino también las críticas y los nuevos enfoques que buscaban comprender el verdadero papel de la educación en los procesos económicos y sociales de los países y regiones (Eicher, 1988; Krüger, 2013; López y Almagro, 2002).

Sin embargo, investigaciones más recientes han señalado que la educación no es simplemente un bien comercial, sino un bien público, dado que en la mayoría de los casos está financiada y controlada por el Estado (Eicher, 1988; Krüger, 2013; López y Almagro, 2002). Este giro conceptual ha motivado un renovado interés por la medición cuantitativa de la educación, enfatizando su papel crucial en la promoción de la igualdad de oportunidades y la reducción de desigualdades (Krüger, 2019; Marchionni *et al.*, 2019; Krüger, 2018).

Los estudios pioneros de Bourdieu y Passeron (1964), han demostrado que la escuela no solo reproduce desigualdades, sino que también perpetúa la estructura social y las clases, desafiando a la teoría de capital humano convencional. Así, a lo largo de las décadas, el análisis de la educación ha evolucionado desde una visión determinista y estrictamente económica hacia un enfoque multidimensional que considera no solo su función igualadora, sino también las desigualdades que la atraviesan, como las sociales, geográficas, raciales, de género, entre otras (Ríos, 2024; Kaplan y Piovani, 2018, Karpan *et al.*, 2023; Krüger, 2022).

En efecto, la desigualdad educativa es un fenómeno complejo que abarca diferentes dimensiones y se manifiesta de diversas formas, relacionadas no solo con el acceso, sino también con la calidad de la educación. Este concepto implica que los estudiantes de un nivel educativo determinado no tengan las mismas oportunidades para acceder a los servicios educativos en una región o jurisdicción específica. A pesar de que estas regiones compartan ciertas características geográficas o socioeconómicas, los servicios educativos pueden ser desiguales, lo que genera trayectorias educativas y resultados desiguales entre los estudiantes (Mazurek *et al.*, 2021; Krüger y Formichella, 2024).

No solo los factores individuales de los estudiantes influyen, sino también el entorno social y familiar en el que se desarrollan, lo que resalta la importancia de considerar tanto las condiciones materiales como las culturales (Krüger, 2024). La desigualdad educativa se vincula estrechamente con factores sociales como la pobreza, la pertenencia a minorías étnicas, la migración o la falta de una vivienda adecuada. Estos elementos afectan el acceso a los recursos educativos y, en consecuencia, los logros académicos de los estudiantes. Además, el entorno familiar juega un rol crucial en el rendimiento escolar, ya que el nivel educativo de los padres, los recursos familiares y las expectativas sobre el futuro académico de sus hijos inciden directamente en el éxito escolar. Este capital cultural no solo se refiere a la educación formal de los padres, sino también a su involucramiento en actividades recreativas y educativas que fomenten el aprendizaje en el seno del hogar (Subirats *et al.*, 2005; Tello y Navarro, 2017; Murillo y Martínez-Garrido, 2018; Marchesi, 2000; Krüger y Formichella, 2024).

Otro aspecto fundamental de la desigualdad educativa se refiere a las condiciones socioeconómicas de las familias. El nivel de ingresos de los hogares determina la posibilidad de acceder a ciertos recursos educativos, como materiales de estudio, tecnología o la elección entre escuelas públicas y privadas. Los hogares con menores recursos suelen enfrentar mayores dificultades para proporcionar una educación de calidad a sus hijos, lo que perpetúa las inequidades sociales y académicas. Así, el sistema educativo, a través de su estructura, distribución de recursos y calidad de los docentes, juega un papel clave en la mitigación o exacerbación de estas desigualdades. La distribución desigual de recursos y las barreras estructurales en el sistema educativo contribuyen a la reproducción de las disparidades sociales en el ámbito académico (Agasisti *et al.*, 2023; Krüger y Formichella, 2019; Krüger, 2018; Tello y Navarro, 2017; Subirats *et al.*, 2005).

Finalmente, la desigualdad educativa también tiene un componente territorial que no debe ser ignorado (Krüger y Formichella, 2024; Tello y Navarro, 2017). En este sentido, el territorio donde los estudiantes viven influye significativamente en su acceso y la calidad de la educación que reciben. Las discrepancias en la infraestructura, el acceso a servicios públicos y el desarrollo socioeconómico entre regiones urbanas y rurales, o entre diferentes provincias, tienen un impacto directo en la educación. Las escuelas ubicadas en zonas desfavorecidas a menudo carecen de los recursos necesarios para brindar una educación de calidad, lo que perpetúa las desigualdades sociales. Estas disparidades territoriales refuerzan un ciclo de exclusión y limitan las oportunidades de movilidad social para los estudiantes provenientes de áreas más vulnerables (Krüger y Formichella, 2024; Delprato y Antequera, 2025; Munandar y Handayani, 2023; Agasisti *et al.*, 2023).

Desigualdades educativas en la República Argentina

Históricamente, la República Argentina se ha caracterizado por sus fuertes desigualdades territoriales, producto de procesos históricos inherentes a cada región y/o jurisdicción, que a menudo se perpetúan con el tiempo. Esto divide al territorio nacional en dos grupos: una zona central, que incluye a las provincias de mayor desarrollo relativo (Buenos Aires, Córdoba, Ciudad de Buenos Aires, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos), y un área periférica que comprende a las provincias del norte y del sur del país (Abeles y Villafañe, 2022). Estas desigualdades territoriales se reflejan de manera significativa en los indicadores educativos, como las tasas de abandono, los índices de egreso, la sobreedad y los rendimientos académicos, que evidencian brechas interprovinciales y regionales notables. En particular, los rezagos de la región norte del país respecto al sur y centro resaltan las disparidades en el acceso a una educación de calidad (Niembro y Sarmiento, 2021; Abeles y Villafañe, 2022; Krüger, 2022).

A nivel secundario argentino, estas desigualdades se manifiestan fuertemente entre las provincias, revelando brechas significativas en los aprendizajes, las trayectorias escolares y las condiciones de enseñanza. La Rioja, ubicada en el noroeste argentino, ocupa un lugar intermedio dentro del panorama nacional: sus resultados en las pruebas estandarizadas APRENDER son mejores que los de provincias como Chaco, Formosa o Santiago del Estero, aún se encuentra por debajo del promedio nacional en desempeño en matemática y lengua. Por ejemplo, en 2022, más del 50% del alumnado riojano no alcanzó el nivel básico en matemática, y cerca del 30% tuvo desempeños bajos en lengua. Estos datos ilustran no solo la brecha con el resto del país, sino también las desigualdades estructurales, como la alta proporción de escuelas rurales, dificultades de conectividad, desigual acceso a recursos educativos y una sobreedad superior al 30% entre estudiantes secundarios. Si bien se han implementado programas de fortalecimiento educativo y ampliación de infraestructura, las trayectorias escolares continúan marcadas por altos niveles de repitencia y abandono, especialmente en zonas alejadas de los centros urbanos (MCH, 2024; APRENDER, 2022).

Estas asimetrías entre provincias argentinas han sido notablemente estudiadas, pero el análisis de las desigualdades educativas a niveles territoriales más pequeños, como ciudades, comunas o departamentos, es aún escaso. Algunos trabajos han abordado las particularidades de ciudades intermedias y grandes (Krüger, 2012; Formichella y Krüger, 2020; Alderete *et al.*, 2020; Agasisti *et al.*, 2023; Krüger *et al.*, 2021; Buzai *et al.*, 2022), y en menor medida, provincias específicas (Herger y Sassera, 2022; Sassera, 2022; Di Piero y Miño, 2020). Sin embargo, la falta de estudios a nivel departamental en La Rioja destaca un vacío de investigación importante.

Para el caso de La Rioja, los estudios sobre desigualdad educativa son limitados. Los esfuerzos académicos se han centrado principalmente en otras áreas, como los sectores productivo, tecnológico y social, como se observa en el trabajo reciente de Pizarro (2024). Un antecedente relevante es el de Herger y Sassera (2022), quienes identificaron departamentos con mejores condiciones de vida y acceso a la educación en la provincia, tales como Capital, Chilecito, Famatina y Chamental. Además, el trabajo de Recchioni y Castore (2016) constituye un antecedente importante en el análisis de las desigualdades socioeconómicas a nivel departamental, aunque de manera tangencial en relación con el ámbito educativo. A pesar de estos esfuerzos, sigue siendo evidente la escasez de estudios sobre desigualdades educativas en las regiones menos desarrolladas de Argentina, particularmente en La Rioja.

La falta de estudios profundos sobre las desigualdades educativas en la provincia destaca la importancia de investigar las particularidades de los territorios menos desarrollados. La contextualización precisa de estas desigualdades es esencial para comprender las disparidades educativas en regiones como La Rioja, lo que permite identificar de manera más clara las características y necesidades educativas de cada zona. Este enfoque

es clave para avanzar hacia un entendimiento más completo y dinámico de la situación educativa en contextos de menor desarrollo de la Argentina.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Datos

Quizás uno de los principales desafíos de la investigación cuantitativa es la falta de estadísticas confiables y la limitada disponibilidad de datos a escalas territoriales menores. En Argentina, la disponibilidad de datos desagregados a nivel departamental es limitada, lo que dificulta el análisis continuo y preciso. Dado que la provincia de La Rioja no es ajena a esta situación, para la presente investigación se utilizaron datos de las pruebas estandarizadas APRENDER 2022, del Censo 2022, del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de la Secretaría de Estadísticas y Censos de La Rioja. Se homogeneizaron las bases de datos para crear una matriz de 45 variables para los 18 departamentos riojanos.

Los microdatos de APRENDER 2022 fueron extraídos del Ministerio de Capital Humano de la Nación y del área de Evaluación e Información Educativa. La georreferenciación de los establecimientos educativos fue provista por esta última dependencia, lo que permitió agrupar los datos según el departamento. Los datos censales provienen del tabulador REDATAM publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la Argentina (INDEC), que permite acceder a información sociodemográfica departamental. La información para la cartografía proviene del Instituto Geográfico Nacional (IGN), mientras que los indicadores complementarios se obtuvieron del sitio oficial de la Dirección General de Estadísticas y Censos de La Rioja. Todas las fuentes utilizadas poseen representatividad a nivel departamental, y fueron sometidas a procesos de estandarización, depuración y armonización en el software R para garantizar su comparabilidad.

Análisis de Clúster

El análisis de conglomerados jerárquicos (Aldenderfer y Blashfield, 1984) se utiliza para agrupar departamentos según características similares. Las variables se estandarizan con el método z-score (Pérez, 2008) y el agrupamiento se realiza con el método de Ward (Ward, 1963), usando la distancia euclidiana³ para medir similitudes. El número óptimo de *Clústeres* se determina mediante el método del codo (Agredano, 2024), y se evalúa la robustez con la Correlación Cofenética y el índice de Davies-Bouldin. Las diferencias intra-*clúster* se analizan con Kruskal-Wallis (Ostertagova *et al.*, 2014).

Variables

Siguiendo con la estrategia metodológica, mediante procedimientos univariantes y bivariantes se reducen las dimensiones matriciales de los datos originales. Luego, se recurre a un análisis de correlaciones lineales⁴ y se emplea un análisis de factores, con el fin de evitar un agrupamiento *ad hoc* y conservar la estructura original de la información (Espadoto *et al.*, 2021). En el Cuadro 1 se presentan de forma resumida las variables seleccionadas a partir de la estrategia mencionada, su codificación correspondiente y el tipo de información que contienen. Del total de indicadores considerados al inicio del análisis (45), se terminan seleccionando 24 variables potenciales.

3. Nótese que se emplea la distancia euclídea de Minkowski, que da lugar a otras distancias y que se define como la raíz cuadrada q-ésima de la suma de las potencias q-ésimas de las diferencias, en términos absolutos, de las coordenadas de dos puntos considerados (Pérez, 2008).

4. Si dos variables están muy correlacionadas, es importante no incluir a ambas en el análisis para evitar sesgo (Jara y Oda, 2014).

Cuadro 1
Variables seleccionadas

<i>Variables</i>	<i>Codificación</i>	<i>Tipo</i>
Tasa de analfabetismo del departamento	TA	Educativa: Acceso y Permanencia
Tasa de egresos del nivel secundario	T_EGRES	Educativa: Acceso y Permanencia
Proporción de estudiantes en edad de asistencia al secundario matriculados en ese nivel	MATR	Educativa: Acceso y Permanencia
Tasa de abandono del nivel secundario	ABAND	Educativa: Acceso y Permanencia
Relación alumnos-escuela	ALU-ESC	Educativa: Acceso y Permanencia
Proporción de estudiantes que nunca asistieron a la escuela	N_ASIST	Educativa: Acceso y Permanencia
Proporción de alumnos con sobreedad en el nivel secundario	SOBREE	Educativa: Acceso y Permanencia
Proporción de alumnos del nivel secundario que alcanzan un nivel satisfactorio en lengua	SAT_L	Educativa: Calidad y Rendimiento
Proporción de alumnos del nivel secundario que alcanzan un nivel satisfactorio en matemática	SAT_M	Educativa: Calidad y Rendimiento
Tamaño de la clase (cantidad de alumnos por aula)	ALUM_AULA	Educativa: Calidad y Rendimiento
Razón docentes-estudiantes	RDE	Educativa: Calidad y Rendimiento
Proporción de escuelas del nivel secundario con conexión a Internet	PROP_ESCINTER	Educativa: Calidad y Rendimiento
Proporción de alumnos del nivel secundario cuya madre posee estudios secundarios	MADRE_SEC	Educativa: Entorno
Proporción de hogares de los estudiantes del nivel secundario con clima educativo muy alto	C_MYAL	Educativa: Entorno
Proporción de hogares de los estudiantes del nivel secundario con clima educativo alto	C_ALT	Educativa: Entorno
Proporción de hogares de los estudiantes del nivel secundario con clima educativo medio	C_MEDIO	Educativa: Entorno
Cantidad de alumnos del nivel secundario que cuentan con internet en sus domicilios	INTER	Educativa: Entorno
Proporción de alumnos del nivel secundario con nivel socioeconómico bajo	NSE_B	Condiciones Socioeconómicas
Alumnos con necesidades básicas insatisfechas de hacinamiento	NBI_H	Condiciones Socioeconómicas
Alumnos con necesidades básicas insatisfechas de condiciones sanitarias	NBI_CON	Condiciones Socioeconómicas
Alumnos con necesidades básicas insatisfechas de capacidad de subsistencia	NBI_CAP	Condiciones Socioeconómicas
Alumnos con necesidades básicas insatisfechas de vivienda	NBI_V	Condiciones Socioeconómicas
Densidad de población del departamento	DEN_POB	Demográficas
Población total del departamento	TOTAL_POB	Demográficas

Fuente: elaboración propia.

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del análisis de conglomerados realizado sobre los 18 departamentos de la provincia de La Rioja, con un enfoque en las desigualdades educativas. En primer lugar, se aborda un análisis exploratorio general que considera todas las variables potenciales, con el objetivo de identificar asociaciones y patrones generales en el área de estudio (Anexo). En segundo lugar, se realiza un análisis específico orientado a inquirir las diversas dimensiones de la desigualdad educativa, estableciendo conglomerados jerárquicos que permitan profundizar en cada una de esas categorías.

Análisis general de conglomerados

En esta primera etapa, el análisis se basa en la construcción de un esquema de agrupamiento utilizando las variables que superaron el análisis preparatorio previo. Los departamentos riojanos se agrupan en cuatro *clústers* principales: el primero incluye a Independencia, Felipe Varela, General Belgrano, General Ortiz de Ocampo, San Martín, Juan Facundo Quiroga, Chamental y Rosario Vera Peñaloza. Chilecito y Capital se agrupan de forma individual en el segundo y tercer *Clúster*, respectivamente. Finalmente, el cuarto *Clúster* agrupa a Vinchina, Castro Barros, Arauco, Famatina, San Blas de los Sauces, Sanagasta, Ángel Vicente Peñaloza y Lamadrid. El análisis arroja una correlación cofenética de 0,695, lo que indica una asociación moderada y positiva entre las distancias originales y las distancias cofenéticas, aunque la agrupación no resulta precisa. Por su parte, con la prueba de Davies-Bouldin se obtiene un valor de 2,3, lo que sugiere que la calidad del agrupamiento no es óptima. En otras palabras, los *Clústeres* identificados no están claramente diferenciados ni son lo suficientemente compactos, lo que refleja dificultades para lograr una separación clara y eficiente entre los grupos.

Además, al evaluar la importancia de las variables en el agrupamiento, se observa que las variables poblacionales explican más del 80% de la conformación de los *Clústeres*. Esto genera un sesgo en los resultados hacia patrones estrictamente demográficos, en detrimento de otras características relevantes, fundamentalmente educativas. Por lo tanto, se decide excluir las variables poblacionales del análisis subsecuente con el objetivo de lograr una agrupación más equilibrada y representativa de las demás dimensiones de desigualdad analizadas.

Agrupación jerárquica específica

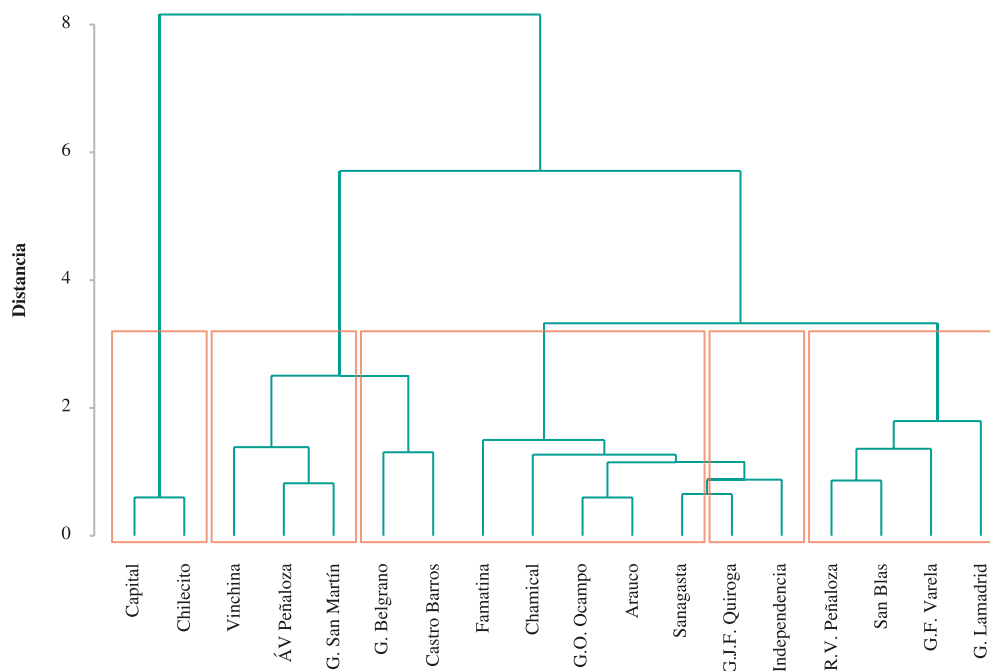
El análisis específico de conglomerados jerárquicos permite identificar agrupaciones según las dimensiones teóricas de la desigualdad educativa, presentadas en secciones anteriores y previamente establecidas por la literatura. Estas dimensiones categorizan a las desigualdades educativas según el acceso y la permanencia en el sistema educativo, la calidad educativa, las condiciones socioeconómicas y el entorno educativo. Cada una de estas categorías de desigualdad se emplea como eje para indagar los puntos en común y las discrepancias existentes entre los departamentos riojanos. El análisis permite identificar grupos homogéneos de departamentos que comparten características comunes en una o varias de estas dimensiones.

Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo

El dendrograma presentado en la Gráfica 1 ilustra los conglomerados formados a partir de las variables de acceso y permanencia en el sistema educativo secundario. Utilizando el método del codo, se obtiene que el número óptimo de *Clústeres* es igual a 5, lo que permite clasificar a los departamentos de acuerdo con las medias de cada grupo. Este proceso de clasificación es realizado por el software R, que agrupa los departamentos según los criterios establecidos (lo mismo se replica para las agrupaciones subsiguientes). Los *clústeres* resultantes se dividen en las siguientes categorías: baja desigualdad (mayor igualdad), desigualdad media o intermedia, desigualdad media-alta, alta desigualdad y muy alta desigualdad. El Cuadro 2 muestra las medidas descriptivas

de cada uno de los 5 conglomerados identificados para la provincia de La Rioja en términos de acceso y permanencia en el sistema educativo secundario.

Gráfica 1
Dendrograma del análisis de Clúster jerárquico.
Acceso y permanencia en el sistema educativo secundario



Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

Cuadro 2
Promedios Aritméticos del análisis de Clúster jerárquico.
Acceso y permanencia en el sistema educativo secundario

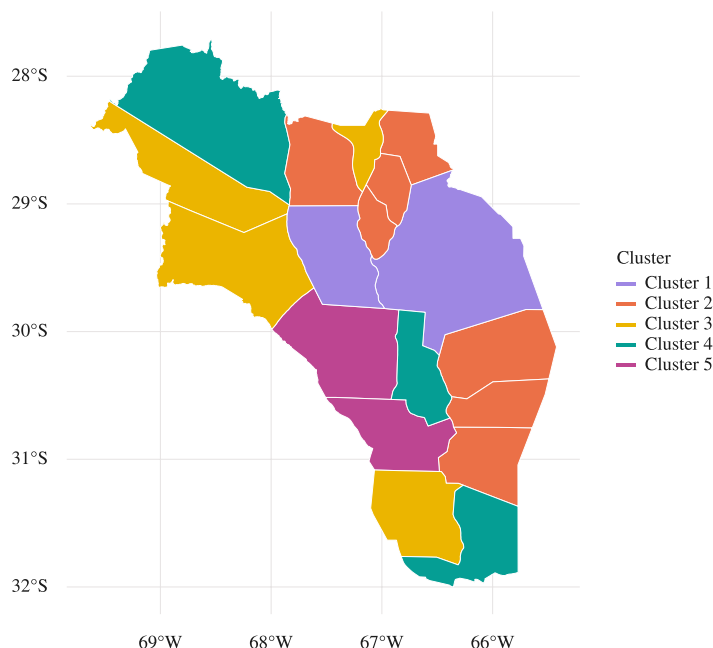
Clúster	Departamento	Variables						
		Tasa de Analfabetismo (TA)	Tasa de Egresos (T_EGRES)	Proporción de Matriculados (MATR)	Tasa de Abandono (ABAN)	Relación Alumnos-Escuelas (ALU_ESC)	Nunca Asistió a la Escuela (N_ASIT)	Sobriedad (SOBREE)
1	Capital, Chilecito	1,65	0,85	0,994	2,50	340	0,009	0,25
2	Arauco, Castro Barros, Chamental, Famatina, General Belgrano, General Ortiz de Ocampo, Sanagasta	1,92	0,79	0,93	2,82	107	0,05	0,24

Clúster	Departamento	Variables						
		Tasa de Analfabetismo (TA)	Tasa de Egresos (T_EGRES)	Proporción de Matriculados (MATR)	Tasa de Abandono (ABAN)	Relación Alumnos-Escuelas (ALU_ESC)	Nunca Asistió a la Escuela (N_ASIT)	Sobreedad (SOBREE)
3	Coronel Felipe Varela, General Lamadrid, Rosario Vera Peñaloza, San Blas de los Sauces	2,75	0,72	0,922	3,45	111	0,07	0,28
4	Ángel Vicente Peñaloza, General San Martín, Vinchina	3,10	0,73	0,910	3,96	40	0,081	0,35
5	Independencia, General Juan Facundo Quiroga	3,31	0,71	0,85	4,66	30	0,09	0,39

Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

El análisis jerárquico permite agrupar a los departamentos riojanos en conglomerados que reflejan distintos niveles de desigualdad en el acceso y la permanencia en el sistema educativo secundario de la provincia. El *Clúster 1*, caracterizado por una baja desigualdad, está integrado por los departamentos Capital y Chilecito. El *Clúster 2*, que representa un nivel de desigualdad intermedia Arauco, Castro Barros, Chamental, Famatina, General Belgrano, General Ortiz de Ocampo y Sanagasta. Por su parte, el *Clúster 3* reúne a los departamentos Coronel Felipe Varela, General Lamadrid, Rosario Vera Peñaloza y San Blas de los Sauces, que presentan una desigualdad media-alta. Los departamentos Ángel Vicente Peñaloza, General San Martín y Vinchina conforman el *Clúster 4*, caracterizado por una alta desigualdad, mientras que los departamentos General Juan Facundo Quiroga e Independencia integran en un *Clúster 5*, que evidencia una muy alta desigualdad. La Gráfica 2 muestra la distribución espacial de los *Clúster* en el territorio provincial y exhibe las disparidades territoriales en el ámbito educativo dentro de la provincia de La Rioja.

Gráfica 2
Distribución Espacial del análisis de *clúster* jerárquico.
Acceso y permanencia en el sistema educativo secundario

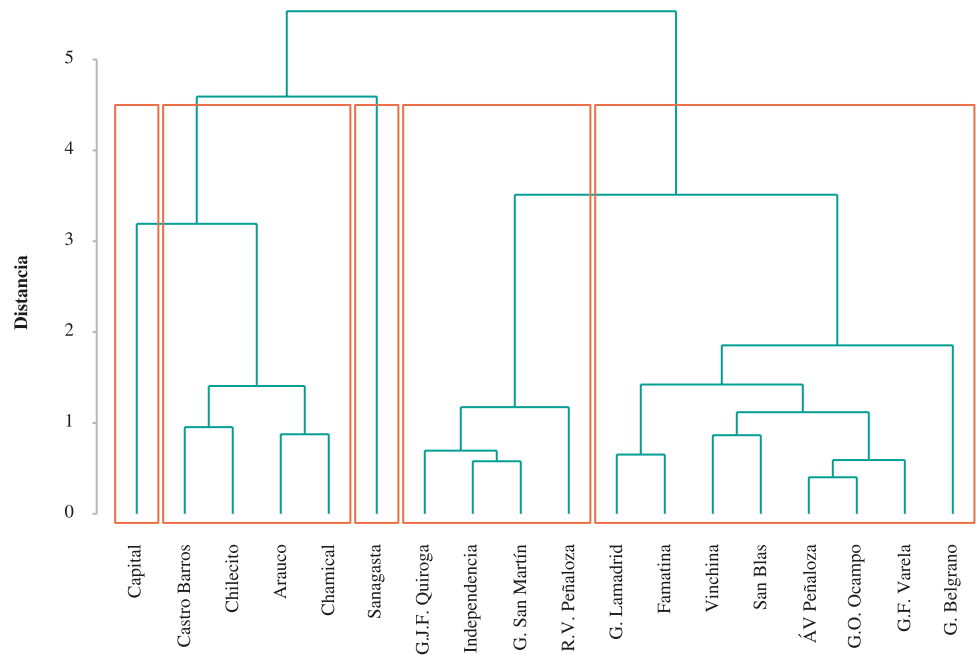


Fuente: elaboración propia según IGN (2024).

Calidad y Rendimiento Educativo

El agrupamiento por calidad y rendimiento educativo, ilustrado en la Gráfica 3 y el Cuadro 3, clasifica a los departamentos según el desempeño de los estudiantes y la calidad del sistema educativo riojano. Utilizando el método del codo, se identificaron 5 grupos óptimos de conglomerados caracterizados en baja y media-baja desigualdad, desigualdad intermedia y media-alta y alta desigualdad.

Gráfica 3
Dendrograma del análisis de Clúster jerárquico.
Calidad y Rendimiento Educativo



Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

Cuadro 3
Promedios Aritméticos del análisis de Clúster jerárquico.
Calidad y Rendimiento Educativo

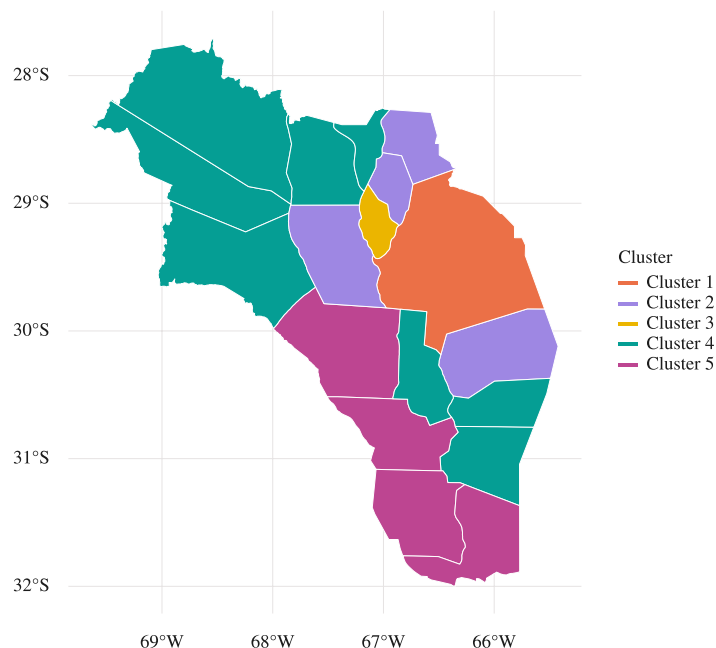
Clúster	Departamento	Variables				
		Satisfactorio en Lengua (SAT_L)	Satisfactorio en Matemática (SAT_M)	Razón Docentes – Estudiantes (RDE)	Cantidad de Alumnos por Aula (ALUM_AULA)	Proporción de Establecimientos con Internet (PROP_ESCINTER)
1	Capital	0,39	0,15	20	35	0,99
2	Castro Barros, Chilecito, Arauco, Chamental	0,44	0,12	12	23	0,95
3	Sanagasta	0,35	0,05	28	12	0,95

Clúster	Departamento	Variables				
		Satisfactorio en Lengua (SAT_L)	Satisfactorio en Matemática (SAT_M)	Razón Docentes – Estudiantes (RDE)	Cantidad de Alumnos por Aula (ALUM_AULA)	Proporción de Establecimientos con Internet (PROP_ESCINTER)
4	General Lamadrid, Famatina, Vinchina, San Blas de los Sauces, Ángel Vicente Peñaloza, General Ortiz de Ocampo, General Felipe Varela, General Belgrano	0,33	0,04	7	16	0,88
5	General Juan Facundo Quiroga, Independencia, General San Martín y Rosario Vera Peñaloza	0,32	0,03	3	26	0,77

Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

El Departamento Capital conforma un Clúster único, caracterizado por baja desigualdad en términos de calidad y rendimiento educativo (Clúster 1). A continuación, el Clúster 2 incluye a los departamentos Castro Barros, Chilecito, Arauco y Chamental, con una desigualdad media-baja. Sanagasta forma un Clúster único con desigualdad intermedia (Clúster 3). El Clúster 4 agrupa a General Lamadrid, Famatina, Vinchina, San Blas de los Sauces, Ángel Vicente Peñaloza, General Ortiz de Ocampo, General Felipe Varela y General Belgrano, presentando desigualdad media-alta. Finalmente, el Clúster 5 agrupa a los departamentos de General Juan Facundo Quiroga, Independencia, General San Martín y Rosario Vera Peñaloza, caracterizados por alta desigualdad en calidad y rendimientos educativos. La Gráfica 4 muestra la distribución espacial de estos conglomerados en el territorio riojano.

Gráfica 4
Distribución Espacial del análisis de *clúster* jerárquico.
Calidad y Rendimiento Educativo

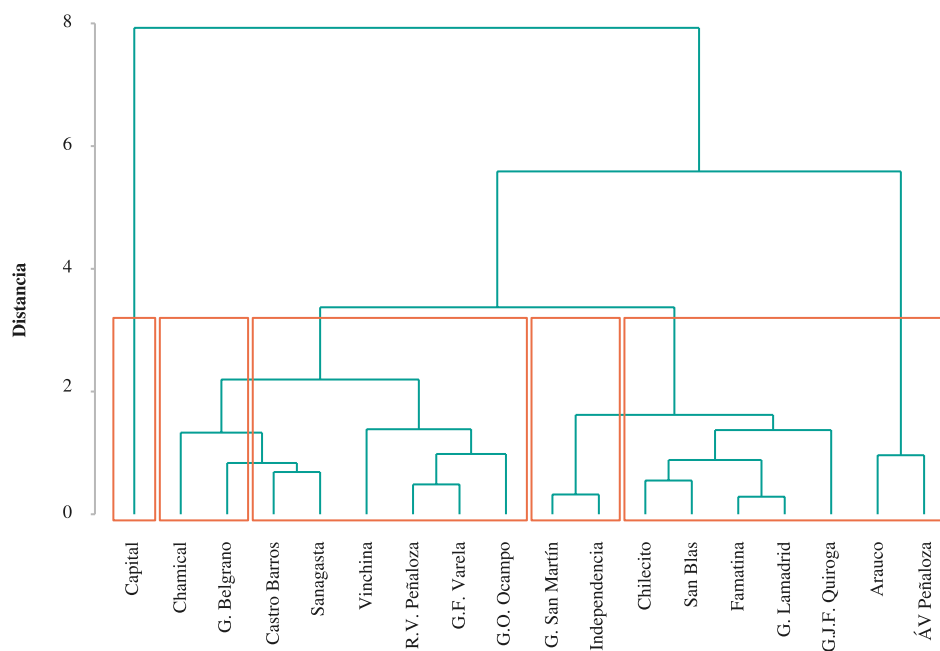


Fuente: elaboración propia según IGN (2024).

Entorno Educativo

Otra dimensión importante de la desigualdad educativa es el entorno de los estudiantes, el cual desempeña un papel crucial en su desarrollo académico. En este contexto, se analizan los conglomerados en los que se agrupan los departamentos riojanos según las características de sus entornos. Utilizando el método del codo, se determinó un agrupamiento óptimo de 5 *Clústeres*, permitiendo identificar patrones y niveles de desigualdad en función de las condiciones contextuales que influyen en el ambiente en el que se desenvuelven los estudiantes (Gráfica 5). El Cuadro 4 resume los resultados en torno a este agrupamiento.

Gráfica 5
Dendrograma del análisis de *clúster* jerárquico.
Entorno Educativo



Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

Cuadro 4
Promedios Aritméticos del análisis de Clúster jerárquico.
Entorno Educativo

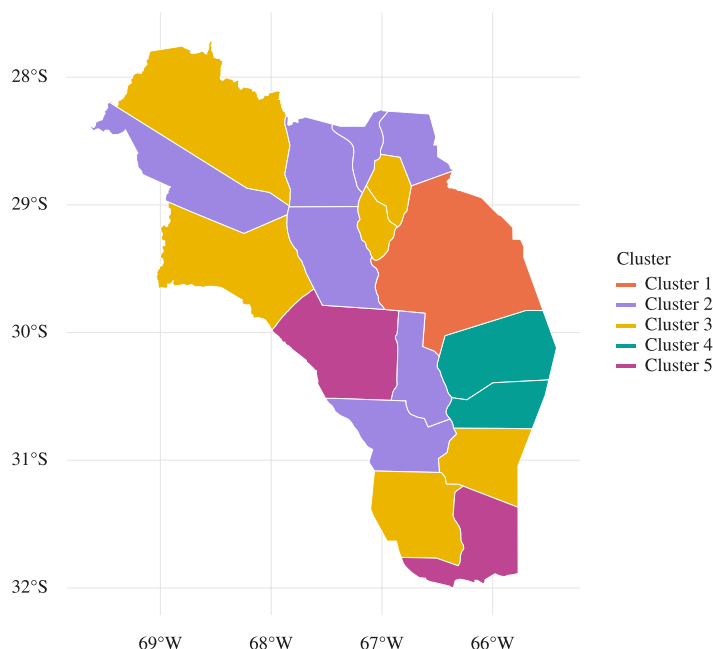
Clúster	Departamento	Variables				
		Madres con Secundario Completo (MADRE_SEC)	Clima Educativo del Hogar muy alto (C_MYAL)	Clima Educativo del Hogar alto (C_ALT)	Clima Educativo del Hogar medio (C_MEDIO)	Conexión a Internet en el Hogar (INTER)
1	Capital	0,71	0,22	0,37	0,39	0,99
2	Arauco, Chilecito, Famatina, San Blas de los Sauces, General Lamadrid, General Juan Facundo Quiroga, Ángel Vicente Peñaloza	0,69	0,27	0,21	0,30	0,95

Clúster	Departamento	Variables				
		Madres con Secundario Completo (MADRE_SEC)	Clima Educativo del Hogar muy alto (C_MYAL)	Clima Educativo del Hogar alto (C_ALT)	Clima Educativo del Hogar medio (C_MEDIO)	Conexión a Internet en el Hogar (INTER)
3	Castro Barros, Sanagasta, Vinchina, Rosario Vera Peñaloza, General Felipe Varela, General Ortiz de Ocampo	0,67	0,10	0,17	0,24	0,89
4	Chamical, General Belgrano	0,66	0,13	0,15	0,24	0,90
5	General San Martín, Independencia	0,60	0,04	0,10	0,14	0,84

Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

Nuevamente, el Departamento Capital conforma un *clúster* único, caracterizado por un entorno educativo favorable (*Clúster 1*). A continuación, el *Clúster 2* incluye a los departamentos Arauco, Chilecito, Famatina, San Blas de los Sauces, General Lamadrid, Ángel Vicente Peñaloza y General Juan Facundo Quiroga, con una desigualdad media-baja en su entorno educativo. El *Clúster 3* agrupa a Castro Barros, Sanagasta, Vinchina, Rosario Vera Peñaloza, General Felipe Varela y General Ortiz de Ocampo, con características de desigualdad intermedia. Por otro lado, el *Clúster 4*, que incluye a Chamical y General Belgrano, presenta desigualdad media-alta. Finalmente, el *Clúster 5* agrupa a los departamentos General San Martín e Independencia, caracterizados por un entorno educativo con alta desigualdad. La Gráfica 6 ilustra la distribución espacial de estos conglomerados en el territorio riojano.

Gráfica 6
Distribución espacial del análisis de *clúster* jerárquico.
Entorno Educativo

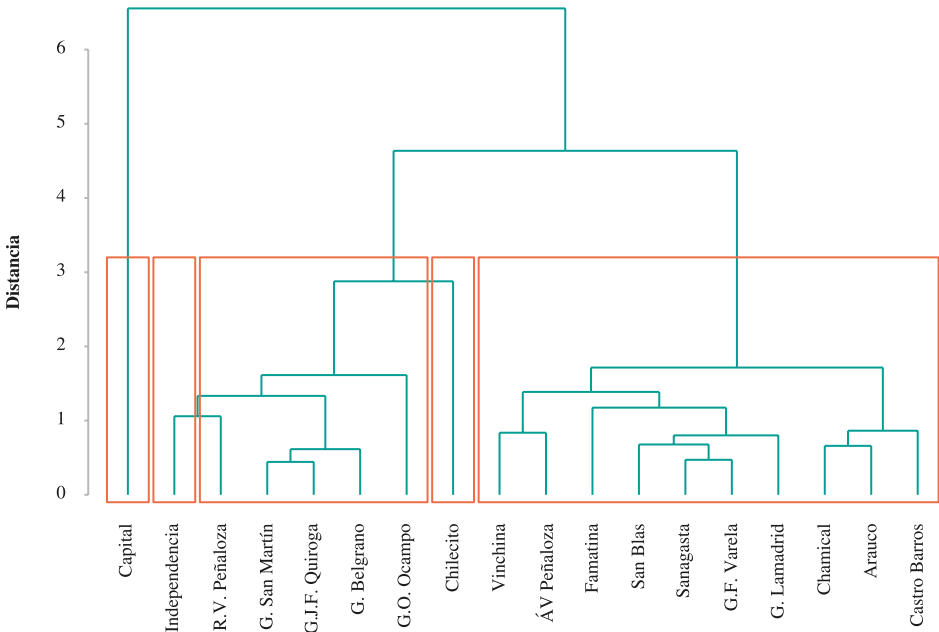


Fuente: elaboración propia según IGN (2024).

Condiciones socioeconómicas

Los conglomerados formados en torno a las condiciones socioeconómicas de los estudiantes de nivel secundario reflejan marcadas diferencias entre los departamentos riojanos. El dendrograma ilustrado en la Gráfica 7 muestra cómo se agrupan los departamentos según indicadores socioeconómicos clave, mientras que el Cuadro 5 resume esta clasificación. Este análisis permite identificar patrones que vinculan las condiciones económicas y sociales y agrupan a los departamentos en un *Clúster* de acuerdo con los niveles de desigualdad socioeconómica de los estudiantes. El método del codo determina que el número óptimo de *Clúster* es de 5 grupos.

Gráfica 7
Dendrograma del análisis de *clúster* jerárquico.
Condiciones Socioeconómicas



Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

Cuadro 5
Promedios Aritméticos del análisis de *clúster* jerárquico.
Condiciones Socioeconómicas

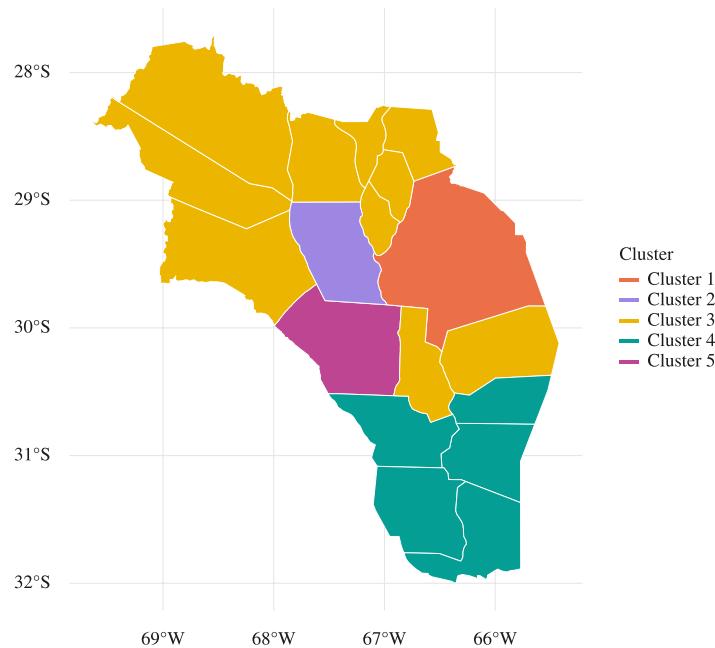
Clúster	Departamento	Variables				
		Nivel Socio Económico Bajo (NSE_B)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Hacinamiento (NBI_H)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Condiciones Sanitarias (NBI_CON)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Capacidad de Subsistencia (NBI_CAP)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Vivienda (NBI_V)
1	Capital	0,14	0,06	0,018	0,012	0,081
2	Chilecito	0,19	0,07	0,06	0,008	0,053
3	Vinchina, Ángel Vicente Peñaloza, Famatina, San Blas de los Sauces, Sanagasta, General Felipe Varela, General Lamadrid, Chamental, Arauco, Castro Barros	0,32	0,10	0,06	0,016	0,041

Clúster	Departamento	Variables				
		Nivel Socio Económico Bajo (NSE_B)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Hacinamiento (NBI_H)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Condiciones Sanitarias (NBI_CON)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Capacidad de Subsistencia (NBI_CAP)	Necesidades Básicas Insatisfechas de Vivienda (NBI_V)
4	Rosario Vera Peñaloza, General San Martín, General Juan Facundo Quiroga, General Belgrano	0,18	0,06	0,02	0,012	0,052
5	Independencia	0,56	0,11	0,05	0,017	0,160

Fuente: elaboración propia según datos de APRENDER 2022, INDEC 2022 y SECLR (2022).

De acuerdo con el Cuadro 5, El *Clúster 1*, compuesto por Capital presenta indicadores de desigualdad medio-bajos. El *Clúster 2*, formado solo por Chilecito, se caracteriza por una desigualdad media-baja. El *Clúster 3*, se conforma por Vinchina, Ángel Vicente Peñaloza, Famatina, San Blas de los Sauces, Sanagasta, General Felipe Varela, General Lamadrid, Chamental, Arauco y Castro Barros denotando una desigualdad media-alta. El *Clúster 4*, integrado por Rosario Vera Peñaloza, General San Martín, General Juan Facundo Quiroga y General Belgrano, se encuentra representado por una alta desigualdad socioeconómica. Por último, el *Clúster 5*, exclusivo del departamento de Independencia, registra los niveles más altos de desigualdad en las dimensiones analizadas. La Gráfica 8 resumen la distribución de espacial de los *Clúster* en el territorio riojano.

Gráfica 8
Distribución espacial del análisis de *clúster* jerárquico.
Condiciones Socioeconómicas



Fuente: elaboración propia según IGN (2024).

Dado que en el análisis de *Clústeres* jerárquicos es fundamental evaluar la calidad del agrupamiento para garantizar que los datos se agrupan de manera coherente y significativa, la cohesión dentro de los grupos y la separación entre ellos son indicadores clave de un buen agrupamiento final. En este sentido, todos los conglomerados conformados en torno a las dimensiones de desigualdad educativa arrojan correlaciones cofenéticas mayores a 0,70, lo que indica un buen ajuste del modelo. Del mismo modo, el índice de Davies-Bouldin obtiene valores cercanos a cero, reflejando una alta calidad del agrupamiento. Los principales resultados se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6
Evaluación de la calidad del agrupamiento.
Correlaciones cofenéticas e índice de Davies-Bouldin

<i>Medida de Bondad</i>	<i>Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo</i>	<i>Calidad y Rendimiento Educativo</i>	<i>Entorno Educativo</i>	<i>Condiciones socioeconómicas</i>
Correlación Cofenética	0,831	0,847	0,820	0,761
Davies-Bouldin	0,13	0,165	0,231	0,198

Fuente: elaboración propia.

Profundizando en las desigualdades educativas, se analizan las posibles asimetrías existentes entre los departamentos dentro de cada Clúster conformado. Aunque los conglomerados ofrecen una visión general

de las similitudes entre los departamentos en términos de las dimensiones analizadas, pueden persistir diferencias internas significativas asociadas a factores locales específicos, como dinámicas particulares de acceso a la educación, disparidades en infraestructura o características socioeconómicas únicas. Para evaluar estas diferencias internas, se aplica la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que complementa el análisis de *Clústeres* al verificar si las diferencias dentro de cada conglomerado son estadísticamente significativas. Este método es particularmente adecuado dadas las características del estudio, como la heterogeneidad de los datos, las distribuciones no normales y el reducido tamaño de algunos conglomerados, lo que descarta métodos paramétricos como el Análisis de la Varianza (ANOVA). Además, este enfoque permite identificar patrones locales o dinámicas específicas que enriquecen la interpretación del agrupamiento, revelando desigualdades educativas internas que podrían estar enmascaradas en el análisis global. Los principales resultados de esta prueba se resumen en el Cuadro 7.

Cuadro 7
Análisis de asimetrías intra-Clúster.
Prueba de Kruskal-Wallis

<i>Dimensión de Desigualdad Educativa</i>	<i>Clúster</i>	<i>Kruskal-Wallis, Chi-cuadrado</i>	<i>Grados de Libertad (df)</i>	<i>P-valor</i>	<i>Significancia</i>
Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo	1	5,40	4	0,155	No Significativo
	2	1,01	4	0,059	Marginalmente Significativo
	3	3,56	4	0,174	No Significativo
	4	4,22	4	0,178	No Significativo
	5	3,45	4	0,285	No Significativo
Calidad y Rendimiento Educativo	1				
	2	1,98	4	0,120	No Significativo
	3				
	4	2,50	4	0,09	No Significativo
	5	5,315	4	0,081	No Significativo
Entorno Educativo	1				
	2	11,56	4	0,031	Significativo
	3	1,14	4	0,007	Significativo
	4	2,22	4	0,698	No Significativo
	5	2,24	4	0,112	No Significativo
Condiciones socioeconómicas	1				
	2				
	3	13,78	4	0,000	Significativo
	4	11,11	4	0,050	Marginalmente Significativo
	5				

Los cuadros en gris no permiten la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis, ya que corresponden a *Clústeres* conformados por un solo departamento. Marginalmente Significativo indica significancia estadística “tangencial” al 5% o significativo al 10%.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis aplicados a las distintas dimensiones de desigualdad educativa analizada revelan diversos patrones de significancia entre los *Clústeres* construidos. En la dimensión de Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo, los p-valores para los *Clústeres* 1, 3, 4 y 5 son mayores a 0,05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los departamentos dentro de estos conglomerados. Sin embargo, el p-valor para el *Clúster* 2 es marginalmente significativo (0,061), lo que sugiere que, aunque la diferencia no es fuerte, podría existir cierta heterogeneidad entre los departamentos integrantes de este grupo. Igualmente, en la dimensión de Calidad y Rendimiento Educativo, ninguno de los conglomerados presenta resultados estadísticamente significativos. Los p-valores en los *Clústeres* 2, 4 y 5 son mayores al nivel de significancia estadística, lo que implica que no se observan diferencias significativas entre los departamentos dentro de estos *Clústeres* (Cuadro 7).

Luego, en la dimensión de Entorno Educativo, los conglomerados 4 y 5 no presentan significancia estadística, lo que sugiere que no existen diferencias relevantes entre los departamentos integrantes de esos *Clústeres*. Sin embargo, los grupos 2 y 3 resultan significativos en términos estadísticos, lo que indica la existencia de diferencias entre los departamentos dentro de estos grupos. En la misma línea, en la dimensión de Condiciones Socioeconómicas, el *Clúster* 3 también resulta significativo lo que indica heterogeneidad entre los departamentos de este grupo. Para el *Clúster* 4, el resultado es marginalmente significativo y sugiere una ligera tendencia hacia la heterogeneidad (Cuadro 7).

Los resultados significativos de las pruebas de Kruskal-Wallis indican la presencia de heterogeneidad y asimetrías entre los departamentos dentro de los mismos *Clústeres*. Esto sugiere que, a pesar de que los departamentos se agrupan bajo un mismo conglomerado, existen diferencias importantes que reflejan variabilidad en las características analizadas. Estas disparidades resaltan la necesidad de realizar análisis adicionales para comprender las causas subyacentes de estas disimilitudes (Cuadro 7).

Del análisis precedente, se procede a clasificar los departamentos de acuerdo con los resultados obtenidos en cada una de las dimensiones de desigualdad educativa indagadas. En este sentido, se observa que los departamentos presentan distintos niveles de desigualdad en relación con los conglomerados a los que pertenecen. Estos niveles de desigualdad permiten identificar patrones de heterogeneidad o asimetría dentro de ciertos grupos, lo que refleja que, aún dentro de un mismo *Clúster*, los departamentos pueden variar considerablemente en sus características en términos del entorno educativo y respecto a las condiciones socioeconómicas de los estudiantes. Esta clasificación no solo facilita el entendimiento de la distribución de la desigualdad educativa dentro de la provincia de La Rioja, sino que también permite la visualización de áreas muy diferentes entre sí aun cuando comparten ciertas características que les permiten agruparse en un mismo *Clúster* (Cuadro 8).

Cuadro 8
Clasificación de los Departamentos según dimensiones de desigualdad educativa
y el análisis de heterogeneidad intra-Clúster

Departamentos	Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo			Calidad y Rendimiento Educativo			Entorno Educativo			Condiciones Socioeconómicas		
	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra
Capital	1	Baja	NO	1	Baja	NO	1	Baja	NO	1	Baja	NO
Castro Barros	2	Intermedia	SI	2	Media-Baja	NO	3	Intermedia	SI	3	Media-Alta	SI
Chilecito	1	Baja	NO	2	Media-Baja	NO	2	Media-Baja	SI	2	Media-Baja	NO

Departamentos	Acceso y Permanencia en el Sistema Educativo			Calidad y Rendimiento Educativo			Entorno Educativo			Condiciones Socioeconómicas		
	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra	Cl	Desigualdad	Intra
Arauco	2	Intermedia	SI	2	Media-Baja	NO	2	Media-Baja	SI	3	Media-Alta	SI
Sanagasta	2	Intermedia	SI	3	Intermedia	NO	3	Intermedia	SI	3	Media-Alta	SI
Coronel Felipe Varela	3	Media-Alta	NO	4	Media-Alta	NO	3	Intermedia	SI	3	Media-Alta	SI
Famatina	2	Intermedia	SI	4	Media-Alta	NO	2	Media-Baja	SI	3	Media-Alta	SI
San Blas de los Sauces	3	Media-Alta	NO	4	Media-Alta	NO	2	Media-Baja	SI	3	Media-Alta	SI
General Lamadrid	3	Media-Alta	NO	4	Media-Alta	NO	2	Media-Baja	SI	3	Media-Alta	SI
Chamical	2	Intermedia	SI	2	Media-Baja	NO	4	Media-Alta	NO	3	Media-Alta	SI
Ángel Vicente Peñaloza	4	Alta	NO	4	Media-Alta	NO	2	Media-Baja	SI	3	Media-Alta	SI
General Ortiz de Ocampo	2	Intermedia	SI	4	Media-Alta	NO	3	Intermedia	SI	4	Alta	SI
General Belgrano	2	Intermedia	SI	4	Media-Alta	NO	4	Media-Alta	NO	4	Alta	SI
General San Martín	4	Alta	NO	5	Alta	NO	5	Alta	NO	4	Alta	SI
Independencia	5	Muy Alta	NO	5	Alta	NO	5	Alta	NO	5	Muy Alta	NO
General Juan Facundo Quiroga	5	Muy Alta	NO	5	Alta	NO	2	Media-Baja	SI	4	Alta	SI
Rosario Vera Peñaloza	3	Media-Alta	NO	5	Alta	NO	3	Intermedia	SI	4	Alta	SI
Vinchina	4	Alta	NO	4	Media-Alta	NO	3	Intermedia	SI	3	Media-Alta	SI

Las diferencias intra-*Clúster*, obtenidas a partir de la prueba de Kruskal-Wallis, se observan en tres de las cuatro dimensiones analizadas. La asignación de la palabra "SI" indica la existencia de heterogeneidad o asimetrías dentro de cada conglomerado (prueba significativa), mientras que "NO" refleja homogeneidad interna en el conglomerado (prueba no significativa). La clasificación Baja, Media-Baja, Intermedia, Media-Alta, Alta y Muy Alta muestra las diferencias inter-*Clúster*. Se asigna un color a cada una de estas categorías inter-*Clúster* para facilitar la lectura y comprensión del Cuadro.

Fuente: elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados encontrados en el presente trabajo evidencian una distribución desigual de las condiciones educativas entre los departamentos de la provincia de La Rioja, lo que pone de manifiesto cierta asociación entre el lugar de residencia, el desarrollo de los estudiantes y su desempeño durante su paso por la escuela secundaria (Krüger y Formichella, 2024; Delprato y Antequera, 2025). Dado que el propósito de este artículo no es explorar ni proponer explicaciones, incluso tentativas, sobre las causas subyacentes que originan las desigualdades educativas en sus diversas dimensiones, los esfuerzos se concentran en describir patrones asociativos y territoriales que permitan identificar grupos y tendencias relacionadas con la desigualdad en los departamentos riojanos.

Este estudio aporta evidencias que permiten identificar dimensiones de desigualdad relacionadas con el acceso y la permanencia en el sistema educativo, la calidad y el rendimiento académico, el entorno educativo y las condiciones socioeconómicas de los alumnos del nivel secundario. Estas dimensiones, además, reflejan la complejidad inherente al problema de la desigualdad, en línea con lo señalado por la

literatura especializada (Sassera, 2022; Herger y Sassera, 2022; Krüger, 2023; Krüger y Formichella, 2024). De este modo, se posibilita un análisis detallado de cómo se configura y desenvuelven las desigualdades en cada uno de los departamentos riojanos, las cuales tienen repercusiones significativas en el desarrollo y el bienestar social general.

Así, en términos de acceso y permanencia el análisis de conglomerados clasifica a los departamentos en 5 grupos. En un extremo, los *Clústeres* 4 y 5 reflejan ciertos patrones de exclusión (Subirats *et al.* 2005; Tello y Navarro, 2017), en los que los estudiantes enfrentan barreras significativas para acceder y permanecer dentro del sistema educativo. En estos se observan tasas elevadas de analfabetismo, sobreedad y abandono escolar, además de una menor proporción de egresados y de alumnos matriculados en el nivel secundario. Un contraste importante, es el observado en los departamentos Capital y Chilecito (*Clúster* 1), que exhiben menores niveles de desigualdad en esta dimensión. Lejos de considerarlos como determinantes de las diferencias sustanciales encontradas, los últimos departamentos se caracterizan por una mayor infraestructura educativa que se corresponde con una mayor población de estudiantes (relación alumnos-escuelas), y con una proporción superior de matriculados y de egresos. Tal como destacan Krüger y Formichella, 2024 y Agasisti *et al.*, 2023, estas disparidades pueden condicionar a los estudiantes, tanto en el acceso, como en la permanencia en el sistema educativo.

En cuanto a calidad y rendimiento, el análisis revela también profundas disparidades entre los departamentos, agrupándolos en 5 *Clústeres*. Aunque el tamaño de la clase es bastante similar entre los diferentes grupos, los aglomerados 4 y 5 destacan por un importante rezago, con bajas proporciones de estudiantes que alcanzan desempeños satisfactorios en lengua y particularmente en matemática, además de un acceso limitado a internet en las escuelas. La razón Docentes-Estudiantes, aunque con una relación ambigua de acuerdo con las investigaciones (Munandar y Handayani, 2023) es demasiado baja (7 y 3 respectivamente) y puede relacionarse con la poca densidad poblacional de los departamentos, en especial de los integrantes del *Clúster* 5, y la presencia de una mayor dispersión de las escuelas en esos territorios. Estas brechas digitales, de aprendizaje y de recursos subrayan cómo las condiciones descritas anteriormente (como el limitado acceso a internet, las bajas proporciones de estudiantes con desempeños satisfactorios y una Razón Docentes-Estudiantes extremadamente baja) pueden estar vinculadas con un desempeño y con una calidad educativa dispar entre los departamentos (Murillo y Martínez-Garrido, 2018).

Respecto al entorno, investigaciones previas han señalado la importancia de factores familiares y comunitarios en el desarrollo académico de los alumnos (Karpan *et al.*, 2023). El nivel educativo de los padres, el clima del hogar y los recursos disponibles, como el acceso a tecnologías y conectividad en el ambiente familiar, son elementos de muchísima relevancia. Los resultados muestran que los departamentos General San Martín e Independencia (*Clúster* 5) presentan un marcado rezago en la proporción de madres con estudios secundarios completos y hogares con acceso a internet. Los territorios mejores posicionados son Capital, en primer lugar, y los integrantes del *Clúster* 2 con mejores indicadores en este sentido.

Luego, en términos de las condiciones socioeconómicas, los resultados indican la existencia de diferencias significativas entre los departamentos. Capital y Chilecito, caracterizados por una baja y media-baja desigualdad, destacan por una proporción menor de estudiantes en condición de necesidades básicas insatisfechas y con niveles socioeconómicos bajos (NSE). Por otro lado, los *Clústeres* 3 y 4 exhiben niveles de desigualdad media-alta, mientras que el *Clúster* 5, representado por Independencia, evidencia una desigualdad muy alta (Krüger y Formichella, 2024).

De acuerdo con lo expuesto hasta este punto, algunos territorios, como Capital y Chilecito, entreen consistentemente baja desigualdad en todas las dimensiones analizadas, lo que sugiere un desempeño,

en términos de equidad educativa, relativamente favorable en comparación con los demás. Este resultado coincide con las conclusiones de Herger y Sassera (2022), quien destaca las condiciones educativas ventajosas de estos departamentos riojanos. Sin embargo, otros muestran niveles de desigualdad intermedios o elevados según la dimensión analizada. Por ejemplo, Chamental, Famatina, San Blas de los Sauces y General Lamadrid presentan desigualdad en acceso, calidad y condiciones socioeconómicas, pero un mejor desempeño en el entorno educativo. En contraste, departamentos como General Ortiz de Ocampo, General Belgrano, General San Martín, Independencia y Vinchina denotan niveles de desigualdad media-alta, alta o muy alta en todas las dimensiones analizadas. Arauco, Castro Barros y Sanagasta, por su parte, se encuentran en una situación, al menos relativa, un poco más favorable dentro de los conglomerados más inequitativos.

Así, es importante destacar los casos donde las desigualdades persisten en todas las dimensiones, evidenciando problemas estructurales profundos en esos departamentos. A pesar de los avances logrados por la provincia de La Rioja en los últimos años en términos de conectividad tecnológica y mejoras en la infraestructura educativa, las disparidades entre los departamentos persisten y adquieren cada vez más nuevos matices. De igual manera, muchos de los departamentos con mayores niveles de desigualdad coinciden con áreas rurales o de muy baja densidad poblacional, en donde la superposición de desigualdades complejiza aún más el panorama y refuerza las inequidades ya existentes.

Del recorrido efectuado, es posible contrastar la existencia de asimetrías regionales intragrupo, un fenómeno que pone de relieve la coexistencia de territorios asimétricos dentro de agrupaciones que, en términos generales, pueden considerarse como homogéneos. A través del análisis de la distribución de indicadores, en los departamentos de La Rioja se observa que, aunque ciertos conglomerados presentan características comunes, la heterogeneidad entre las unidades territoriales es significativa, revelando disparidades tanto en el acceso como en las oportunidades educativas. Dentro de los conglomerados 2 y 3 de la dimensión entorno educativo, y de los *Clúster* 3 y 4 de las condiciones socioeconómicas, se identifican estas diferencias sustanciales (Cuadro 8). Lo señalado, arroja luz sobre la complejidad inherente de la clasificación territorial encontrada en cada dimensión de desigualdad, sugiriendo que la simetría aparente de un grupo no necesariamente implica uniformidad en términos internos. En efecto, dentro de un *Clúster* definido por altos niveles de igualdad en términos del entorno y de las condiciones socioeconómicas, se identifican territorios que, a pesar de compartir una posición similar en la jerarquía del agrupamiento, presentan divergencias sustanciales en cuanto a las variables de asociación.

Un aspecto clave que surge a partir de este trabajo, es la puesta en relieve de lo que podría llamarse como la “paradoja de las asimetrías dentro de las simetrías”, un fenómeno que desafía la percepción inicial de homogeneidad de los territorios. Los hallazgos muestran que, en el caso riojano, si bien los *Clústeres* identificados agrupan departamentos con características comunes, existen diferencias significativas entre ellos que permanecen ocultas en este tipo de análisis. Esta investigación, al exponer estas disparidades internas, abre la puerta a una nueva perspectiva sobre cómo las dinámicas educativas se distribuyen de manera desigual incluso dentro de agrupaciones aparentemente uniformes. Este enfoque revela que la homogeneidad territorial aparente no necesariamente implica igualdad hacia el interior de los *Clústeres* conformados. Asimismo, a nivel nacional la provincia sigue ocupando una posición relativamente desfavorable en términos educativos, lo que refuerza las disimilitudes existentes tanto dentro de ella como en comparación con otras jurisdicciones.

Por último, esta discusión refuerza la hipótesis planteada en este trabajo: las desigualdades educativas en la provincia de La Rioja no son uniformes, sino que se configuran territorialmente en patrones diferenciados. Comprender estas dinámicas resulta clave para avanzar hacia estrategias de intervención educativa más equitativas, que reconozcan la complejidad del territorio y respondan de manera situada a las necesidades locales.

CONCLUSIONES

Partiendo del objetivo general de este trabajo (comprender las desigualdades educativas en la secundaria riojana desde una perspectiva territorial y multidimensional), las evidencias encontradas permiten aportar una mirada integradora y situada sobre la configuración desigual del sistema educativo a nivel departamental. En este sentido, el presente trabajo, si bien constituye un primer paso, es sumamente relevante para comenzar a comprender cómo se configuran estas heterogeneidades internas en los territorios periféricos, sentando las bases para futuras investigaciones que profundicen en las particularidades locales.

En efecto, se considera de suma relevancia que futuras investigaciones exploren la interrelación entre los factores socioeconómicos y poblacionales identificados en este estudio, así como la incorporación de aspectos culturales y demográficos que afectan el rendimiento educativo de los departamentos riojanos. Igualmente, sería pertinente realizar estudios aún más detallados mediante algunas pruebas *post hoc*, como las de Dunn o Wilcoxon par a par (Pérez, 2008), que permitan identificar entre qué departamentos se presentan las mayores diferencias observadas actualmente.

Del mismo modo, resulta valiosa la conducción de análisis que inquieren más a fondo aspectos tales como la participación familiar en el proceso educativo, las actitudes culturales hacia la educación, la disponibilidad de servicios comunitarios y las migraciones internas a nivel departamental. Por último, el seguimiento en el tiempo de las dinámicas detectadas podría enriquecer la comprensión sobre cómo evolucionan estas desigualdades en contextos específicos, y cómo se articulan con transformaciones sociales más amplias.

En suma, el enfoque territorial y el uso de herramientas estadísticas multivariadas han permitido visibilizar configuraciones desiguales en el acceso, la permanencia y el rendimiento educativo que requieren mayor atención por parte de la comunidad investigadora. Esta caracterización representa un insumo valioso para el diseño de estudios que aspiren a profundizar en la complejidad de las desigualdades educativas desde un enfoque atomizado y sensible al contexto provincial.

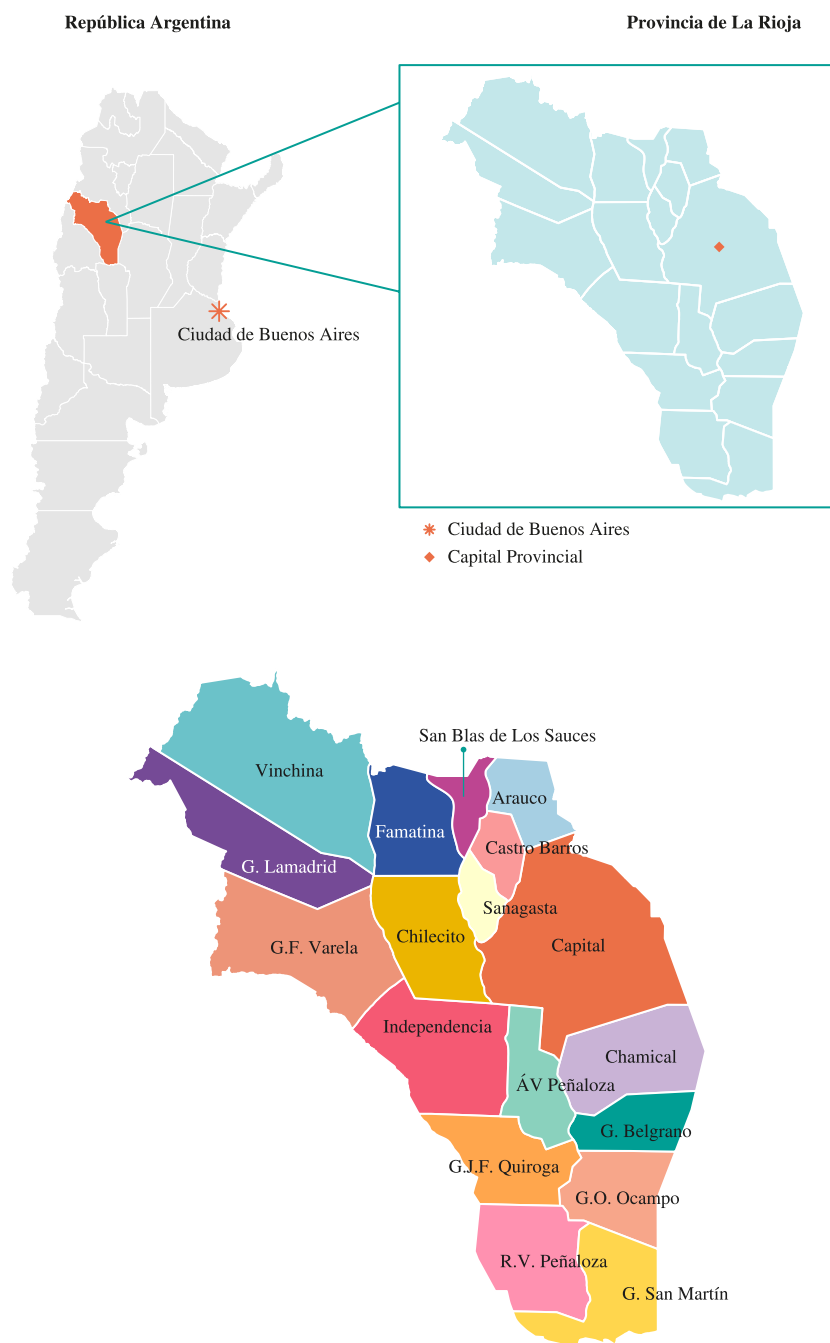
REFERENCIAS

- Abeles, M. y Villafañe, S. (2022). *Asimetrías y desigualdades territoriales en la Argentina. Aportes para el debate*. (LC/TS.2022/146-LC/BUE/TS.2022/13), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-cepal-11362-48191/Description>
- Agasisti, T., Antequera, G. y Delprato, M. (2023). Technological resources, ICT use and schools efficiency in Latin America—Insights from OECD PISA 2018. *International Journal of Educational Development*, 99, 102757. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2023.102757>
- Agredano, I. (2024). *Análisis Multivariante aplicado a datos sobre proyectos STEAM en educación secundaria. Tesis de Grado en Estadística, Universidad de Granada, Granada, España.*
- Aldenderfer, M. S. y Blashfield, R.K. (1984). *Cluster Analysis*. Beverly Hills, SAGE Publication.
- Alderete, M. V., Formichella, M. M. y Krüger, N. (2020). Efecto de las TIC sobre los resultados educativos: estudio en barrios vulnerables de Bahía Blanca. *Ciencia, docencia y tecnología*, (61), 89-96. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-17162020000200089&script=sci_arttext
- APRENDER (2022). <https://www.argentina.gob.ar/educacion/evaluacion-informacion-educativa/aprender/aprender-2022>
- Becker, G. S. (1964). *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education* (Vol. 3). Chicago: University of Chicago Press.

- Bourdieu, P. y Passeron, J.C. (1964). *Les héritiers. Les étudiants et la culture*. Paris: Les Éditions de Minuit. https://www.leseditionsdeminuit.fr/livre-Les_H%C3%A9ritiers-1950-1-1-0-1.html
- Bowles, S., y Gintis, H. (1985). *Instrucción escolar en la América capitalista: reforma educativa y las contradicciones de la vida económica*. Siglo XXI de España Editores.
- Buzai, G. D., Ruiz, E. y Montes, E. J. (2022). Clásicos de la Geografía Cuantitativa vigentes en los Sistemas de Información Geográfica. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 273(3), 19-42.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2019). *Planes de igualdad de género en América Latina y el Caribe: mapas de ruta para el desarrollo*. (LC/PUB.2017/1-P/Rev.1), Observatorio de Igualdad de Género en América Latina y el Caribe. Estudios, 1, Santiago de Chile.
- Delprato, M. y Antequera, G. (2025). School efficiency in Latin America before and after the COVID-19 pandemic: New evidence from PISA 2018 and 2022. *International Journal of Educational Research*, 129, 1-50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883035524001782>
- Delprato, M., Köseleci, N. y Antequera, G. (2015). Education for all in Latin America: evolution of the school inequality impact on achievement. *Revista Latinoamericana de Educación Comparada*, 6(8), 45-75. https://sussex.figshare.com/articles/journal_contribution/Education_for_all_in_Latin_America_evolution_of_the_school_inequality_impact_on_achievement/23448713
- Di Piero, E. y Miño Chiappino, J. (2020). Pandemia, desigualdad y nivel secundario: trayectorias de las políticas de virtualización a nivel subnacional durante 2020. *Propuesta educativa*, (54), 42-58. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1995-77852020000200042&script=sci_arttext
- Eicher, J. C. (1988). Treinta años de economía de la educación. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, (12), 11-37. <https://hal.science/hal-03202176/document>
- Espadoto, M., Hirata, N. S. T. y Telea, A. C. (2021). Self-supervised dimensionality reduction with neural networks and pseudo-labeling. In *Proceedings*, 28–38.
- Formichella, M. M. y Krüger, N. S. (2020). Pandemia y brechas educativas: reflexiones desde la Economía de la Educación. *CONICET*.
- Gasparini, L., Jaume, D., Serio, M. y Vázquez, E. (2011). La segregación entre escuelas públicas y privadas en Argentina. Reconstruyendo la evidencia. *Desarrollo Económico: Revista de Ciencias Sociales*, 189-219. <https://www.jstor.org/stable/23612381>
- Herger, N. y Sassera, J. S. (2022). Desigualdades territoriales en el acceso y permanencia a la educación secundaria: aproximación a las condiciones sociales y educativas a nivel departamental en Argentina. *Laboratorio*, 32(1), 33-66. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/205976>
- INDEC. (2022). *Informes Técnicos – Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-Indec-InformesTecnicos-152>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). (2024). <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-Indec>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2024). <https://www.ign.gob.ar/>
- Jara, A. y Oda, D. A. (2014). Agrupación de instituciones bancarias a partir del análisis de *clúster*: una aplicación al caso de Chile. *Economía chilena*, 17(2), 80-102.
- Kaplan, C. y Piovani, J. I. (2018). Trayectorias y capitales socioeducativos. En Piovani J.L, y Salvia, A. (Coords.), *La Argentina en el siglo XXI: Cómo somos, vivimos y convivimos en una sociedad desigual*. Siglo XXI, Encuesta Nacional sobre la Estructura Social, Buenos Aires.

- Karpan, M., Kedžo, M. y Žmuk, B. (2023). Exploring the link between education length and employment outcomes among youth in Europe: A hierarchical clustering approach. *Business Systems Research: International journal of the Society for Advancing Innovation and Research in Economy*, 14(2), 190-213. <https://doi.org/10.2478/bsrj-2023-0019>
- Krüger, N. (2022). Desigualdades socioeconómicas y culturales en la elección de escuela: un análisis para el nivel medio en la ciudad de Bahía Blanca. En *XI Jornadas de Sociología de la UNLP 5-7 de diciembre de 2022 Ensenada, Argentina. Sociologías de las emergencias en un mundo incierto*. Departamento de Sociología. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata.
- Krüger, N. (2019). La segregación por nivel socioeconómico como dimensión de la exclusión educativa: 15 años de evolución en América Latina. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 27(8), 35-67. <https://doi.org/10.14507/epaa.27.3577>
- Krüger, N. (2018). An evaluation of the intensity and impacts of socioeconomic school segregation in Argentina. *Understanding school segregation: Patterns, Causes and consequences of spatial inequalities in education*, 210-243. <https://scholar.google.cl/citations?user=0siRHWIAAAAJ&hl=es&oi=ao>
- Krüger, N. (2014). Más allá del acceso: segregación social e inequidad en el sistema educativo argentino. *Cuadernos de Economía*, 33(63), 513-542. <https://scholar.google.cl/citations?user=0siRHWIAAAAJ&hl=es&oi=ao>
- Krüger, N. (2013). Segregación social y desigualdad de logros educativos en Argentina. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 21(86), 1-26. <https://scholar.google.cl/citations?user=0siRHWIAAAAJ&hl=es&oi=ao>
- Krüger, N. y Formichella, M. M. (2024). Oportunidades educativas desiguales en un espacio urbano fragmentado. *Problemas del desarrollo*, 55(217), 61-88. <https://scholar.google.cl/citations?user=0siRHWIAAAAJ&hl=es&oi=ao>
- Krüger, N., Erramuspe, L. y Mendoza, M. (2021). Nexos entre el género, el trabajo y la vulnerabilidad social en Bahía Blanca, Argentina. *SaberEs*, 13(1), 91-114. <https://scholar.google.cl/citations?user=0siRHWIAAAAJ&hl=es&oi=ao>
- Krüger, N., y Formichella, M. M. (2019). ¿Las competencias no cognitivas actúan como mediadoras en el proceso de enseñanza y aprendizaje? Evidencia para Argentina. *Cuadernos de Economía*, 38(77), 493-521. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-47722019000200493&script=sci_arttext
- López, S. L., y Almagro, A. C. (2002). Economía de la educación: capital humano y rendimiento educativo. *Análisis económico*, 17(36), 79-106.
- Marchesi, Á. (2000). Un sistema de indicadores de desigualdad educativa. *Revista Iberoamericana de educación*, 23, 135-163.
- Marchionni, M., Gasparini, L., y Edo, M. (2019). *Brechas de género en América Latina. Un estado de situación*. CAF, Caracas.
- Mazurek, J., Fernández García, C. y Pérez Rico, C. (2021). Inequality and students' PISA 2018 performance: a cross-country study. *Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe*, 24(3), 163-183. <https://doi.org/10.18778/1508-2008.24.27>
- Mincer, J. A. (1974). *Schooling, experience and earnings*. Columbia University Press.
- Ministerio de Capital Humano (MCH) (2024). <https://www.argentina.gob.ar/capital-humano>
- Morduchowicz, A. (2004). *Discusiones de economía de la educación*. Editorial Losada, Buenos Aires. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/4520>

- Munandar, T. A. y Handayani, D. (2023). Extracting Patterns of Proximity in Regional Development Inequality Using Hierarchical Agglomerative Clustering. *TEM Journal*, 12(2), 680. <https://doi.org/10.18421/TEM122-11>
- Murillo, F. J. y Martínez-Garrido, C. (2018). Magnitud de la segregación escolar por nivel socioeconómico en España y sus Comunidades Autónomas y comparación con los países de la Unión Europea. *Revista de Sociología de la Educación-RASE*, 11(1), 37-58. <https://turia.uv.es/index.php/RASE/article/view/10129>
- Niembro, A. y Sarmiento, J. (2021). Regional development gaps in Argentina: A multidimensional approach to identify the location of policy priorities. *Regional Science Policy & Practice*, 13(4), 1297-1328. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1757780223000951>
- Ostertagova, E., Ostertag, O. y Kovac J. (2014). Methodology and application of the Kruskal-Wallis test. *Applied Mechanics and Materials*, 611, 115-120. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115>
- Pérez, C. (2008). *Econometría avanzada: técnicas y herramientas*. Pearson Educación, Madrid.
- Pizarro, E. G. (2024). Sistema regional de innovación y desarrollo territorial en la Provincia de La Rioja. Vinculaciones tecnológicas en el Sector Agroindustrial. *Tesis Maestría en Desarrollo Territorial y Urbano*, Universidad Nacional de Quilmes. <https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/4649>
- Recchioni, L. y Castore, L. F. (2016). Técnicas multivariadas para el agrupamiento de departamentos. Provincia de La Rioja. *Oikonomos*, 2.
- Ríos, F. X. C. (2024). ¿Confirma el ERCE la ventaja académica de la educación cubana entre los países de América Latina y El Caribe? *Trenzar. Revista de Educación Popular, Pedagogía Crítica e Investigación Militante*, 6(11), 35-53.
- Sassera, J. S. (2022). Desigualdad espacial, segmentación educativa y diferenciación institucional: Aportes de representaciones cartográficas en una localidad. *OBETS. Revista de Ciencias Sociales*, 17(1). <https://doi.org/10.14198/OBETS2022.17.1.09>
- Secretaría de Estadísticas y Censos de La Rioja (SECLR). (2022). www.secretariaestadisticasLR.gov.ar.
- Secretaría de Estadísticas y Censos de La Rioja (2023). *Datos estadísticos provinciales*. <https://estadisticas.larioja.gob.ar/>
- Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American economic review*, 51(1), 1-17. <https://www.jstor.org/stable/1818907>
- Subirats, J. (2005). *Análisis de los factores de exclusión social*. España. Fundación BBVA.
- Tello, A. y Navarro, J. C. L. (2017). Desigualdad educativa y su relación con la distribución del ingreso en los estados mexicanos. CPU-e. *Revista de Investigación Educativa*, (24), 75-98. <https://doi.org/10.25009/cpue.v0i24.2404>
- Ward, J. H. (1963). Application of an hierarchical grouping procedure to a problem of grouping profiles. *Educational and psychological measurement*, 23(1), 69-81. <https://doi.org/10.1177/001316446302300107>

ANEXO**Área de estudio:
ubicación geográfica de la provincia de La Rioja y delimitación administrativa**

Fuente: elaboración propia según el IGN (2024).

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Key technologies, challenges, and trends in electric vehicles: a systematic review

Tecnologías clave, desafíos y tendencias de los vehículos eléctricos: una revisión sistemática

Adriana Martínez Martínez*, Alejandro García Garnica** y Samuel Estrada Jasso***

*Profesora-Titular C de Tiempo Completo, Universidad Nacional Autónoma de México.
Correo electrónico: adriana.martinez@enes.unam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-4007>

**Profesor-Investigador de Tiempo Completo, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
Correo electrónico: alejandro.garciag@docentes.uaem.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4755-4644>

***Egresado de la licenciatura de Economía Industrial, Universidad Nacional Autónoma de México.
Correo electrónico: samuele129615@comunidad.unam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3986-8113>

ABSTRACT

This study analyzes key technologies, challenges, and trends in the development of electric vehicles (EVs) through a systematic literature review (2010–2024) following the PRISMA methodology. It examines advancements in batteries, charging infrastructure, energy management, and sustainable manufacturing. The results highlight the importance of battery energy efficiency, the development of fast-charging networks, and vehicle-to-grid (V2G) integration for EV adoption, although challenges such as critical material shortages, limited infrastructure, and battery lifecycle sustainability remain. The study concludes that mass EV adoption requires technological advancements, effective public policies, infrastructure investments, and sustainable regulations. It recommends exploring battery recycling strategies, assessing economic impact, and developing grid integration models to drive the transition to electromobility.

RESUMEN

Este estudio analiza tecnologías clave, desafíos y tendencias en el desarrollo de vehículos eléctricos (VEs) mediante una revisión sistemática de la literatura (2010-2025) siguiendo la metodología PRISMA. Se examinan avances en baterías, infraestructura de carga, gestión de energía y manufactura sostenible. Los resultados destacan la importancia de la eficiencia energética de las baterías, el desarrollo de redes de carga rápida y la integración vehículo-red (V2G) en la adopción de VE, aunque persisten desafíos como la escasez de materiales críticos, la infraestructura limitada y la sostenibilidad del ciclo de vida de las baterías. Se concluye que la adopción masiva de VE requiere avances tecnológicos, políticas públicas efectivas, inversiones en infraestructura y regulaciones sostenibles. Se recomienda explorar estrategias de reciclaje de baterías, evaluar el impacto económico y desarrollar modelos de integración con la red eléctrica para impulsar la transición hacia la electromovilidad.

Received: February/17/2025

Accepted: May/23/2025

Posted: January/12/2026

Keywords:

| Electric vehicles |
| Battery technology |
| Charging infrastructure |
| Energy management |
| Sustainable mobility |

Palabras clave:

| Vehículos eléctricos |
| Tecnología de baterías |
| Infraestructura de carga |
| Gestión de energía |
| Movilidad sostenible |

JEL Classification |

Clasificación JEL |

O33, Q55, L62, Q42, R41

INTRODUCTION

The automotive industry (AI) is a fundamental pillar of the global economy due to its significant impact on economic growth, job creation, and environmental sustainability (Mohammad & Shavarebi, 2019). In recent years, electric vehicles (EVs), have gained prominence due to battery advancements, cost reductions, and the push for sustainable manufacturing.



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

Sustainable manufacturing encompasses the adoption of environmentally friendly practices in vehicle and auto parts production, as well as in their operation and maintenance. This includes reducing CO₂ emissions and implementing circular economy strategies in material usage. Sustainability has become a major challenge for the automotive industry, prompting companies not only to adopt greener manufacturing methods but also to invest in technologies that enhance energy efficiency and reduce environmental impact (Chinoracky *et al.*, 2022).

In 2009, the 15th Conference of the Parties (COP15) under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) convened in Copenhagen, where an international agreement to mitigate climate change was reached. Orendain (2023) highlights that this agreement recognized the urgent need to limit global emissions, with participating countries accounting for 80% of total greenhouse gas emissions. Subsequently, in 2015, 196 nations signed the Paris Agreement, which came into force in 2016, setting ambitious targets to restrict global warming.

More recently, in February 2023, the European Parliament formally approved legislation that prohibits the sale of new gasoline and diesel vehicles in the European Union by 2035, aiming for a 100% reduction in CO₂ emissions. This regulatory shift is accelerating the transition to electric mobility, reinforcing EVs as the future of the automotive industry (El Economista, 2023).

The production of electric vehicles (EVs) has become a global strategy to combat climate change, with expectations of a significant positive impact on sustainability (Ahuja *et al.*, 2020; Anastasiadou & Gavanis, 2022; Husain *et al.*, 2021; Moyo *et al.*, 2023). The drive toward carbon neutrality has been a key catalyst in the development of EVs, which are increasingly recognized as a viable solution to reducing greenhouse gas emissions from the traditional automotive sector.

This push for electrification has led to rapid growth in the EV market. According to the International Energy Agency (IEA, 2024), over 14 million electric cars were sold in 2023, and sales are projected to increase by 35% in 2024. The market share of EVs within the global automotive industry has expanded significantly, rising from 4% in 2020 to 14% in 2022, with expectations of reaching 18% by 2024. Sales are heavily concentrated in three key regions —China, Europe, and the United States— highlighting the pivotal role of EVs in reshaping the automotive industry.

Within this context, this study conducts a systematic review of scientific and technical literature to analyze key technologies driving EV development, along with emerging challenges and trends. The research is guided by two key questions: 1) What are the essential technologies advancing EVs? and 2) What major trends arise from this technological shift?

The article is structured as follows: the first section outlines the methodological approach used in this study. The second and most extensive section examines the key technologies underpinning electric vehicle development. The third section discusses emerging trends that will shape the future of the industry. Then, the Analysis and Results section is presented. Finally, the conclusions summarize the main findings and propose directions for future research.

I. METHODOLOGICAL DESIGN

A review of electric vehicles in the automotive industry from 2010 to the present was carried out for the following reasons:

- **Technological development:** Since 2010, significant advances have been made in battery technology, particularly with the development of more efficient and cost-effective lithium-ion batteries, which are crucial for electric vehicles.
- **Policies and regulations:** During this decade, many countries implemented policies and regulations to promote the adoption of EVs as part of global initiatives to reduce carbon emissions and mitigate climate change. For example, the European Union and China began introducing stricter emission regulations and offering incentives for the purchase of EVs.
- **Market growth:** The demand for EVs began to grow significantly after 2010, with companies like Tesla contributing to this trend. This market growth fueled further investment in research and development.
- **Charging infrastructure:** Since 2010, investments in EV charging infrastructure have been crucial for adoption, driving exponential growth in public and private charging stations. Anastasiadou and Gavanis (2022) highlight infrastructure availability and fast charging as key adoption factors.
- **Research and publications:** In recent years, academic research on electromobility has surged, addressing key technologies, adoption challenges, environmental impact, business models, policies, and consumer preferences.

Scope and research topic

This review focused on three key thematic areas:

- **Key technologies:** Analysis of batteries, electric motors, charging infrastructure, software, and connectivity, as well as leading companies in EV implementation.
- **Challenges:** Examination of technical, social, and environmental obstacles identified in recent literature.
- **Future trends:** Review of studies exploring the future of electromobility and emerging innovations.

Search strategy and data sources

The literature search was conducted in English and Spanish, using the following keywords:

- Electric vehicles AND key technologies / vehículos eléctricos AND tecnologías clave.
- Electric vehicles AND challenges / vehículos eléctricos AND desafíos.
- Electric vehicles AND trends / vehículos eléctricos AND tendencias.

The databases consulted are listed in Table 1.

Inclusion and exclusion criteria

To ensure the rigor and relevance of the selected studies, the following inclusion and exclusion criteria were applied (Table 1). This Table outlines the parameters that guided the selection process, specifying six criteria that guided the selection process, ensuring a structured and transparent approach in identifying high-quality research aligned with the objectives of this study.

Table 1
Inclusion and exclusion criteria

Criterion	Inclusion	Exclusion
Timeframe	Studies published between 2010 and 2025.	Studies published before 2010.
Language	English and Spanish publications from peer-reviewed journals and reputable industry reports.	Articles in languages other than English and Spanish.
Relevance	Studies focusing on key EV technologies, adoption challenges, and future trends.	Studies unrelated to EV technology, policies, or future trends.
Study Type	Empirical studies, systematic reviews, meta-analyses, and policy-related news articles from reputable sources.	Opinion pieces, non-verified blogs, or speculative articles lacking technical backing.
Data Sources	Indexed databases (ScienceDirect, MDPI, SciELO, Redalyc, Springer, IEEE, BMJ, Emerald Insight) and industry reports (McKinsey, IEA, WEF, Deloitte).	Sources lacking methodological rigor or data transparency.
Methodological Rigor	Studies with clear methodologies, quantitative/qualitative analysis, or case studies.	Studies with unclear methodology, anecdotal evidence, or unsupported claims.

Source: own elaboration.

Methodological approach

This study followed the PRISMA methodology (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) to ensure rigor and transparency in the literature review process. The PRISMA framework consists of sequential stages, beginning with identification, where relevant studies are retrieved from databases, followed by screening, in which titles and abstracts are evaluated for relevance. Next, the inclusion phase selects studies that align with the research objectives within the 2010–2025 timeframe (Page *et al.*, 2021). In the review and synthesis stage, full-text studies are analyzed to extract key insights, which are then categorized into technologies, challenges, and future trends during the analysis and results phase. Finally, in discussion and conclusions, the findings are integrated to highlight implications and propose future research directions. Although PRISMA is widely used in health sciences, its adaptability has led to increasing applications in systematic reviews within the social sciences and education (Barrios *et al.*, 2021).

II. ELECTRIC VEHICLES: KEY TECHNOLOGIES

Electromobility is a sustainable mode of transportation promoted to achieve zero-carbon objectives (Chinoracky *et al.*, 2022). Montayo (2021) defines electromobility as the use of various forms of transportation powered by electricity. However, Kett (2018) takes a broader approach, associating the term with the development of electric drivetrains aimed at reducing dependence on fossil fuels in traditional internal combustion engine vehicles.

Building upon these perspectives, Anastasiadou and Gavanis (2022), referencing the European Union Science Hub, define electromobility as clean and efficient transportation using electric vehicles (EVs) powered by batteries or hydrogen fuel cells. This category encompasses electric cars, motorcycles, e-bikes, public transport systems such as trolleybuses, subways, and electric buses, as well as hybrid vehicles.

Given these definitions, electromobility is fundamentally linked to advances in renewable energy, battery storage, and environmental sustainability, which drive the ongoing evolution of electric vehicle technology. Therefore, this study focuses on electric vehicles (EVs), excluding other modes of electromobility such as electric bikes or public transport.

Table 2 provides an overview of the different types of electric vehicles, along with a brief description and the main industry players driving their development.

Table 2
Types of electric vehicles

Type of vehicle	Description	Key players
Battery Electric Vehicles (BEV)	Operate entirely on electricity stored in rechargeable batteries, with no internal combustion engine.	Tesla, Nissan, Chevrolet, BMW, Hyundai, Volkswagen
Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)	Combine an electric motor with an internal combustion engine. Batteries can be externally recharged.	Toyota, Ford, Mitsubishi, Volvo
Extended-Range Electric Vehicles (EREV)	Feature a small combustion engine that generates electricity when battery levels are low, extending the vehicle's range.	BMW, Chevrolet, Ford
Hybrid Electric Vehicles (HEV)	Use both an internal combustion engine and an electric motor. Batteries are primarily recharged through regenerative braking.	Toyota, Honda, Hyundai, Ford, Lexus
Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)	Utilize hydrogen as fuel to generate electricity through a fuel cell, producing zero emissions.	Toyota, Honda, Hyundai, Mercedes-Benz

Source: own elaboration.

The global electric vehicle (EV) stock reached 26.8 million units in 2022, and by 2030, EVs are projected to represent nearly 50% of total vehicle sales (EY, 2023). This rapid growth highlights the critical role of technology and infrastructure in ensuring widespread adoption. The shift to electric mobility is one of the most significant transformations in the automotive sector since the internal combustion engine, driven by the need to reduce greenhouse gas emissions and enhance vehicle sustainability. Key technological innovations include advancements in battery technology, charging infrastructure, and energy management systems (Moyo *et al.*, 2023). Table 3 summarizes these technologies describing their impact and the major industry players involved.

Table 3
Key technologies in electric vehicles

Technology	Description	Key players
Charging Infrastructure	Development of facilities for recharging electric vehicles, including both public and private charging stations.	ChargePoint, EVBox, Tesla, Blink Charging, Electrify America
Battery Management Systems (BMS)	Technologies that optimize battery efficiency, longevity, and performance in electric vehicles.	Panasonic, LG Chem, Samsung SDI, BYD
Battery Recycling Technology	Innovative recycling and reuse processes that recover valuable components from EV batteries, promoting sustainability and circular economy models.	Umicore, Redwood Materials, Li-Cycle
Electrified Transmission and Driveline Systems	Advanced electric drivetrains, including electric axles and electric traction modules, enhancing EV performance and efficiency.	GKN, Bosch, ZF Friedrichshafen, Magna
Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)	Utilize hydrogen as fuel to generate electricity through a fuel cell, producing zero emissions.	Toyota, Honda, Hyundai, Mercedes-Benz

Source: own elaboration.

The role of charging infrastructure in electric mobility

A robust and accessible charging infrastructure is essential for the mass adoption of electric vehicles (EVs). Without a well-developed network of public and private charging stations, the transition to electric mobility would face significant hurdles. Leading companies such as ChargePoint, EVBox, Tesla, Blink Charging, and Electrify America are driving the development and expansion of this infrastructure. According to the International Energy Agency (IEA, 2024), the scalability and strategic deployment of charging infrastructure must accelerate rapidly to ensure EV viability across all regions, including urban and rural areas.

Charging stations are primarily classified into two types. Alternating Current (AC) Charging is generally slower and suitable for overnight charging or locations where vehicles remain parked for extended periods, with Level 2 chargers being the most common in residential and commercial settings. Direct Current (DC) Charging, on the other hand, provides significantly faster charging, making it ideal for roadside stations where drivers require quick recharge, though its installation is more expensive and requires higher voltage power infrastructure (Saraswathi and Ramachandran, 2024).

Interoperability is another critical factor in charging infrastructure development. Just as mobile phone roaming allows users to connect to various service providers, EV charging networks must ensure seamless access across different charging stations. Companies such as EV Connect are developing software solutions that enable cross-platform interoperability, improving the efficiency and accessibility of charging networks (Arrow, 2022). Additionally, cloud-based charging management systems facilitate real-time monitoring and maintenance, optimizing station performance (Locke, 2021).

Despite technological advancements, several challenges remain. The lack of public charging stations is a major barrier, with 34% of potential EV buyers citing this issue as a deterrent to adoption (Morales, 2023). Additionally, the electric grid must be upgraded to handle increased demand efficiently, requiring the

implementation of smart grid technologies. Lastly, installation costs, particularly for DC fast-charging stations, remain high, limiting the scalability of charging infrastructure (Fernandez *et al.*, 2023; Gamage *et al.*, 2023).

According to projections by Woodward *et al.* (2020), the number of electric vehicles (EVs) is expected to grow at an annual rate of 29% worldwide by 2030. At this pace, EVs, including hybrids, are projected to account for 80% (25.5 million) of total vehicle sales that year. The adoption of dynamic load management technologies will allow for better energy distribution, prioritizing users in need of rapid charging and optimizing the overall grid load (Arrow, 2022). While significant challenges remain, EV charging infrastructure presents an opportunity to improve sustainable mobility and enhance the user experience. Soon, wireless and ultra-fast charging technologies will play a crucial role in increasing accessibility. Additionally, charging standardization and smart grid integration will be key to overcoming current barriers (IEA, 2024).

Battery Management Systems (BMS)

Battery Management Systems (BMS) are critical for the safe and efficient operation of EV batteries and other energy storage systems. Companies such as Panasonic, LG Chem, Samsung SDI, and BYD are leading the development of advanced BMS technologies. These systems not only optimize battery performance but also ensure safety by monitoring essential parameters such as temperature and charge levels (Rodríguez *et al.*, 2015).

A BMS performs several key functions, including:

- Cell monitoring: Tracks voltage, temperature, and state of charge for each battery cell (Jiang *et al.*, 2017; Milde & Lux, 2025).
- Charge and discharge control: Regulates charging and discharging limits to prevent overcharging and excessive depletion, which could damage battery cells (Xu *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2024).
- Cell balancing: Ensures that all battery cells maintain similar charge levels, thereby extending overall battery lifespan.
- Safety measures: Implements protective mechanisms, including automatic disconnection in case of faults or hazardous conditions, enhancing operational security (Khan *et al.*, 2025).

Over time, BMS technology has evolved from simple circuits in the 1970s to intelligent and connected systems. There are currently three main types of BMS:

- Centralized Battery Management System (CBMS): In this system, a single controller manages all the cells in the battery pack. This centralized approach simplifies the design and can be more cost-effective for smaller battery systems (Aganti *et al.*, 2022; Shabana *et al.*, 2025).
- Distributed Battery Management System (DBMS): This type involves multiple controllers managing groups of cells, which communicate with a central controller. It is useful for large battery packs where decentralized control can enhance performance and reliability (Aganti, *et al.*, 2022).
- Modular: This system is composed of modules, each with its own BMS. These modules can operate independently or in coordination with other modules, providing flexibility and scalability (Aganti *et al.*, 2022).

Beyond electric vehicles, BMS plays a crucial role in Battery Energy Storage Systems (BESS), ensuring optimal battery conditions for backup power applications. This is particularly relevant for renewable energy installations, such as solar power systems, where efficient energy management is essential (Rodríguez *et al.*, 2015). However, BMS faces challenges, including design complexity and the need for adaptation to emerging

battery technologies, such as solid-state batteries. Research continues in areas like artificial intelligence (AI) to enhance fault detection and energy management capabilities. The ongoing evolution of BMS technology is expected to further improve safety, efficiency, and lifespan, not only for EV batteries but also for renewable energy storage systems.

Advancements in lithium-Ion batteries and recycling technologies

Batteries are the core energy storage component of electric vehicles, supplying power to all electrical systems within the vehicle. In recent years, battery technologies have become increasingly sophisticated, significantly improving EV performance.

Lithium-ion batteries were first commercialized in 1991 by Sony, revolutionizing consumer electronics and later becoming the preferred power source for electric vehicles. These batteries offer higher energy density, fewer memory effects, and reduced weight compared to earlier battery technologies (Tarascon & Armand, 2001). By the 2010s, models such as the Tesla Model S demonstrated that lithium-ion batteries could provide over 300 miles of range, making EVs a viable large-scale transportation alternative (Burke & Miller, 2009).

Some of the most significant advancements in lithium-ion battery technology include:

- Increased energy density and range: Over the past decades, battery energy density has significantly increased, allowing for longer driving ranges, thus addressing one of the major limitations of electric propulsion (Mercado & Córdova, 2014).
- Reduced charging time: Fast-charging technology has advanced significantly, with new charging algorithms such as CC-CV η σ T (VEST) optimizing charging speed while mitigating battery degradation, improving efficiency, and extending battery lifespan (Mohtat *et al.*, 2021, Mateen *et al.*, 2023).
- New materials development: Research into graphene and other advanced materials has expanded the potential for higher energy storage and more efficient power delivery (Mercado & Córdova, 2014).
- Exploration of next-generation battery technologies: Current research is focused on solid-state, zinc-air, and sand-based batteries, which offer improved safety, efficiency, and sustainability compared to existing lithium-ion technologies.
- While lithium-ion batteries are becoming the dominant power source for EVs, proper end-of-life management is essential to prevent environmental contamination and optimize resource utilization (Ahuja *et al.*, 2020).

Battery recycling and the circular economy

Safe battery disposal and recycling processes are critical to ensuring that lithium-ion batteries do not become an environmental liability. Poor handling at the end of their lifecycle can lead to significant pollution and safety risks (World Economic Forum, WEF, 2018). Developing efficient battery recycling systems is necessary to prevent increased waste accumulation while maintaining a sustainable supply of critical materials.

One innovative solution to battery costs and sustainability is the leasing model proposed by Ahuja *et al.* (2020). This approach suggests selling EVs without including the battery cost, allowing consumers to lease batteries separately. Renault, for example, applies this model to its ZOE vehicles, where customers purchase the car but lease the battery.

Meanwhile, the cost of lithium-ion batteries has declined significantly, making EVs more affordable and facilitating mass adoption (Helmers & Marx, 2012). As the circular economy model continues to

expand, recycling initiatives and sustainable battery production will become crucial in ensuring the long-term viability of electromobility.

Lithium-Ion battery recycling and sustainability

The rapid rise in demand for lithium-ion batteries, fueled by global decarbonization efforts and ambitious climate goals, has created an urgent need for efficient recycling technologies. Currently, only half of the lithium-ion batteries reaching end-of-life are recycled globally, while a significant portion is discarded (Ferreira & Sucre, 2024). Companies such as Umicore, Redwood Materials, and Li-Cycle are developing advanced recycling processes to recover valuable materials like lithium and cobalt.

Large-scale lithium-ion battery recycling remains an emerging field with various methods, technologies, and processes still under development (Ferreira & Sucre, 2024). The complexity of materials and high energy densities of residual charges pose technological challenges. However, battery recycling not only reduces dependence on virgin mineral extraction but also creates regional economic value. By 2040, as the costs of producing unprocessed minerals continue to rise, the economic and environmental benefits of recycling are expected to grow significantly (Ferreira & Sucre, 2024).

While proper recycling of lithium batteries can mitigate environmental pollution and prevent resource depletion, it is not without challenges. The presence of heavy metals and toxic electrolytes complicates recovery efforts, requiring intensive energy consumption and producing additional waste (Yang, 2023). For this reason, recycling processes must be carefully optimized to balance environmental benefits with energy efficiency. Proper end-of-life management not only reduces contamination risks but also minimizes fire hazards and potential safety concerns (Ferreira & Sucre, 2024).

The development of best practices in lithium-ion battery reuse and recycling could significantly reduce waste, allowing for the processing of up to 2.8 million tons of batteries between 2024 and 2050 (Ferreira & Sucre, 2024). Achieving this goal requires specific regulations, extended producer responsibility frameworks, and appropriate infrastructure for efficient material separation and processing.

Electrified transmission and driveline systems

Electrified transmission and driveline systems in modern EVs integrate electric motors, optimized transmission mechanisms, and final drive components to enhance efficiency and performance. Innovations such as dual-motor configurations and planetary gear systems contribute to improved power distribution and vehicle stability. Continuous advancements focus on refining gear transmission systems and reducing production costs through advanced modeling techniques (Farfan-Cabrera *et al.*, 2024; Fang *et al.*, 2016; Pakniyat & Caines, 2017; Liu *et al.*, 2022).

Electrified transmission systems integrate electric components into energy transfer mechanisms, improving overall efficiency and flexibility compared to conventional systems. The key advantages of these systems include:

- Higher energy efficiency – The use of electric motors instead of internal combustion engines reduces energy losses, resulting in lower consumption and reduced greenhouse gas emissions (Calderón-Guizar, 2010).
- Lower maintenance costs – With fewer mechanical components, electrified drivetrains require less maintenance and are less prone to failures, making them ideal for industrial and public transport applications.

- Energy recovery – Many electrified transmission systems incorporate regenerative braking, which enhances battery range and overall vehicle efficiency (Velasco-Ramírez *et al.*, 2013).

Despite their advantages, electrified transmission systems face challenges such as the need for adequate charging infrastructure and EV range optimization. Additionally, the environmental impact of battery production and recycling must be addressed to ensure sustainability.

The electrified driveline consists of components that transmit power from the motor to the wheels, including drive shafts and differentials. These components are optimized for electric motors, simplifying design and improving vehicle efficiency. Notable innovations include:

- Electronic controllers – These manage power delivery to the electric motor, ensuring optimal performance and rapid responses to driving conditions, improving the overall user experience.
- Smart transmission systems – Advanced sensors and real-time data analytics are increasingly being integrated into transmission technology, enhancing reliability, efficiency, and adaptability (Romero-Carrión & Carrión-Galarza, 2022).

Electrified transmission and driveline systems are already widely applied in passenger EVs, public transportation fleets, and industrial machinery. Their ability to operate with greater efficiency and sustainability makes them an attractive solution in the shift toward clean energy transportation. However, to maximize their long-term impact, challenges related to implementation, performance, and infrastructure development must be addressed through continued research and innovation (Romero-Carrión & Carrión-Galarza, 2022).

Advancements in EV battery technologies

Batteries serve as the core energy storage component of electric vehicles (EVs), supplying power to all onboard electrical systems. Over recent years, battery technology has significantly evolved, improving energy efficiency, performance, and longevity.

During the mid-20th century, nickel-cadmium (NiCd) batteries were introduced as an alternative, offering higher energy density and improved rechargeability. However, these batteries suffered from the memory effect and environmental contamination risks due to cadmium toxicity (Xu & Cao, 2015). By the 1990s, nickel-metal hydride (NiMH) batteries emerged as a better alternative, increasing energy density and reducing memory effect issues. This technology was widely used in hybrid vehicles, such as the Toyota Prius, which combined an electric motor and an internal combustion engine, improving fuel efficiency and lowering emissions (Chan, 2007).

The breakthrough moment for EV batteries came with the commercial introduction of lithium-ion (Li-ion) batteries by Sony in 1991. These batteries revolutionized the consumer electronics industry and later became the dominant energy source for EVs. Compared to previous technologies, Li-ion batteries offer higher energy density, reduced weight, and better overall performance (Tarascon & Armand, 2001). By the 2010s, vehicles like the Tesla Model S demonstrated that lithium-ion batteries could provide over 300 miles of range, making EVs a practical alternative to traditional vehicles (Burke & Miller, 2009).

Key advancements in EV battery technology include:

- Increased charge density and range: Battery energy density has significantly improved, allowing longer driving ranges, overcoming a major limitation of early EVs (Mercado & Córdova, 2014).
- Reduced charging time: Fast-charging capabilities now enable full charges in under 10 minutes, enhancing practicality for daily use (Iberdrola, s/f-a).

- New material development: Research into graphene and advanced composite materials has led to higher energy storage capacity and power efficiency (Mercado & Córdova, 2014).
- Exploration of next-generation battery technologies: Solid-state, zinc-air, and sand-based batteries are under investigation as safer and more efficient alternatives to conventional lithium-ion technology.

While lithium-ion batteries remain the industry standard, proper disposal and recycling processes are crucial for minimizing environmental impact. Additionally, the continued optimization of battery chemistry and performance is necessary to meet the growing demands of EV adoption.

III. CHALLENGES AND TRENDS IN ELECTRIC VEHICLES

As discussed earlier, electric vehicles (EVs) are considered one of the most sustainable alternatives to internal combustion engines (ICE) vehicles, primarily due to their low direct greenhouse gas emissions. However, several studies and analyses (Koroma *et al.*, 2022; Walters & Brusselaers, 2024; Agusdinata *et al.*, 2018) highlight a range of challenges and concerns related to EV production and operation.

Key challenges in EV adoption

The widespread adoption of electric vehicles (EVs) faces multiple challenges beyond technological advancements, including environmental, ethical, geopolitical, and infrastructural concerns. Environmentally, the production of EV batteries requires large-scale extraction of critical minerals such as lithium, cobalt, nickel, and manganese, often resulting in severe environmental degradation, including water contamination and soil erosion.

Additionally, the energy-intensive battery manufacturing process generates substantial carbon dioxide emissions, with studies estimating that this phase can produce 40% to 50% more emissions than those of internal combustion engine vehicles (Ran & Duan, 2025; Carvalho *et al.*, 2023; Shahzad & Iqbal Cheema, 2024).

From an ethical perspective, concerns arise regarding labor exploitation in global supply chains. Subcontracting practices allow lead firms to deflect responsibility for unethical labor conditions, while the extraction of cobalt—an essential component in lithium-ion batteries—has been linked to exploitative practices in artisanal mining sectors, particularly in the Democratic Republic of Congo (DRC), where miners often work under precarious conditions with no social protections (Cuervo-Cazurra *et al.*, 2021; Horst *et al.*, 2023; Rachidi *et al.*, 2021).

Geopolitically, the concentration of battery mineral reserves in politically unstable regions creates significant supply chain vulnerabilities, leading to market monopolization, fluctuating prices, and protectionist trade policies that threaten the affordability of EVs (Prakhar *et al.*, 2024). Additionally, the globalization of trade and the shift toward renewable-based electrification may externalize decarbonization costs, creating negative externalities in other regions (Basu, Jamasb & Sen, 2024).

Finally, the large-scale electrification of transportation will impose unprecedented pressure on existing power grids. Increased energy demand, if met using fossil fuel-based sources, could undermine the expected reductions in greenhouse gas emissions, while infrastructure limitations necessitate substantial investments in grid modernization and expansion to support the rising adoption of EVs. Without addressing these interconnected challenges, the transition to electric mobility may face significant economic, social, and environmental obstacles.

Balancing sustainability and scalability

While EVs offer substantial benefits in terms of reducing direct CO₂ emissions, achieving a truly sustainable transition requires addressing their entire life cycle impact. Sustainability must be improved at every stage, from material extraction and battery production to recycling and clean energy generation for vehicle operation.

Future trends in electric vehicles

The success of EVs adoption will depend on technological advancements, policy support, and infrastructure improvements to overcome current challenges. Continued investment in battery innovation, smart grids, and ethical supply chain management will be critical to ensuring the long-term viability of electric mobility.

This section explores the key trends shaping the future of electric vehicles, including their environmental and economic impact, technological advancements, and the transformation of the workforce.

Environmental and economic impact

Electric vehicles (EVs) produce zero direct emissions during operation, making them a cleaner and more sustainable alternative to internal combustion engine (ICE) vehicles. Their widespread adoption is expected to significantly reshape global transportation infrastructure, driving a fundamental shift in mobility patterns. However, one of the most pressing challenges remains the proper management of batteries at the end of their life cycle, ensuring that sustainability extends beyond vehicle operation.

From an economic perspective, the production and adoption of EVs are stimulating economic growth, creating new market opportunities, and driving demand in related industries. For instance, the EVs sector has had a notable impact on economic output in countries such as Indonesia, where it contributed to a 1.87% increase in total economic output and a 1.5% increase in value-added growth. This expansion is primarily driven by the manufacturing and battery production sectors, highlighting the industry's potential to transform national economies (Pirmana *et al.*, 2023; World Bank, 2022).

Technological advancements in electric vehicles

A key driver of EVs adoption has been the continuous improvement in battery technology. According to Nykvist and Nilsson (2015), lithium-ion battery costs have fallen by 85% since 2010, making EVs more affordable and accessible to the mass market. This cost reduction has been facilitated by large-scale investments in research and development (R&D) and economies of scale, which have driven significant production efficiencies.

Furthermore, ongoing research into alternative battery materials, such as solid-state lithium and graphene, aims to enhance energy density and reduce charging times (Pellow *et al.*, 2020). These breakthroughs could address key challenges limiting EV adoption, particularly range anxiety and lengthy charging times.

Despite substantial progress in extending battery range, electric vehicles still face limitations compared to ICE vehicles. According to the International Energy Agency (IEA, 2024), range improvements and energy recovery systems have significantly enhanced EV performance. However, extreme weather conditions, intensive use, and long-distance travel continue to present challenges, making further advancements in battery technology and charging infrastructure critical.

Job creation and workforce transformation

The transition to electromobility is expected to have significant implications for both job creation and work transformation. The expansion of the electric vehicle (EV) industry, along with the growth of renewable energy, is generating employment opportunities in areas such as EV maintenance, battery manufacturing, and the

development of charging infrastructure (Gokasar *et al.*, 2023). Additionally, broader economic benefits can be observed in countries that invest in energy efficiency and electromobility, as evidenced by Luxembourg, where these sectors have contributed to job creation and economic growth (Karimabadi & Leal-Arcas, 2023).

However, the shift towards electromobility is also reshaping existing job roles in the automotive sector. As traditional manufacturing processes evolve, workers must adapt to new technologies, requiring retraining and upskilling programs (Gokasar *et al.*, 2023). The broader impact of digital transformation, including automation in electromobility, follows complex patterns. Some mechanisms, such as the substitution effect, may lead to job displacement, while others, like productivity gains and new task creation, can generate new employment opportunities (Gao *et al.*, 2025; Sun *et al.*, 2023).

Public policies play a crucial role in maximizing employment benefits while mitigating potential job losses. Government incentives and regulatory frameworks can facilitate workforce adaptation, ensuring a smooth transition toward a more electrified transport sector. For example, strategic investment policies and non-fiscal measures have been identified as key drivers for electromobility adoption in countries like Colombia (Negrete *et al.*, 2024; Lopez-Arboleda *et al.*, 2023). Ultimately, the extent to which electromobility fosters job growth or labor market disruptions will depend on policy support and the ability of the workforce to adapt to evolving technological demands.

IV. DISCUSSION AND RESULTS

The literature review reveals key patterns in the evolution of electromobility, highlighting technological milestones, persistent challenges, and emerging trends. The discussion on electric vehicles (EVs) is structured around three fundamental dimensions:

- 1) Key Technological Innovations Driving EV Adoption.
- 2) Challenges in Charging Infrastructure and EV Regulations.
- 3) Adoption patterns in international markets.

1) Key technological innovations driving EV adoption

A crucial factor influencing EV adoption is the evolution of battery technology and energy management systems. Over the past decades, major milestones (Table 4) have been observed in cost reduction, increased range, and the development of new battery technologies.

Table 4
Milestones in Battery Development for EV

Year	Event / Innovation	Impact on EV adoption
1991	Commercialization of lithium-ion batteries (Sony).	Revolutionized consumer electronics, later adopted in EVs.
2010	Accelerated cost reduction in batteries (-85%) (Nykqvist & Nilsson, 2015).	Made EVs more affordable and competitive.
2015	Introduction of the Model S with +300-mile range.	Demonstrated the feasibility of EVs as a real alternative.
2023	Advances in solid-state batteries.	Reduced charging times and improved safety.

Source: own elaboration.

A clear pattern of technological evolution can be observed, where innovation in battery materials and thermal management systems has been the primary drivers of improvements in range and cost. However, significant challenges remain, particularly regarding battery recyclability and dependence on critical minerals such as lithium and cobalt.

Regarding vehicle infrastructure, the electrification of transmission and propulsion systems has significantly improved EVs energy efficiency. Three key patterns in this evolution include:

- 1) Simplification of mechanical components, reducing maintenance costs.
- 2) Optimization of energy efficiency, incorporating regenerative braking and advanced power management.
- 3) Integration with artificial intelligence (AI) and machine learning to improve range and vehicle response.

2) Challenges in charging infrastructure and EV regulations

The deployment of charging infrastructure remains one of the most significant obstacles to mass EVs adoption. Table 5 shows a clear distinction between regions with high EVs adoption rates and those where the transition has been slower.

Table 5
Comparison of EVs adoption strategies

Criterion	High adoption countries (Norway, China, Germany)	Developing countries (Mexico, Brazil, South Africa)
Charging infrastructure	Extensive public and private charging networks.	Limited availability, mostly in urban areas.
Fiscal incentives	Tax exemptions and direct subsidies.	Partial or inconsistent incentives.
Electricity costs	Preferential rates for EV users.	Standard electricity tariffs, no special incentives.
Regulation and policies	National interoperability standards for charging stations.	Lack of uniform regulations, bureaucratic barriers.

Source: own elaboration.

A significant milestone in charging infrastructure has been the development of ultra-fast charging networks and smart grid integration, enabling more efficient energy distribution while preventing grid overloads.

However, major challenges remain, particularly in charging system standardization and the electrical grid’s capacity to handle increased EV demand. It is projected that the growth in EV sales will require a 25% increase in charging infrastructure investment over the next decade (IEA, 2024).

3) Adoption patterns in international markets

A comparative analysis of global EVs adoption reveals clear patterns (Table 6) of success and persistent challenges, shaped by disparities in infrastructure availability, regulatory support, and production costs.

Table 6
EVs adoption strategies by country

Adoption model	Examples of countries	Characteristics
Early adoption leaders	Norway, China, Germany	Strong government support, subsidies, extensive charging network.
Accelerated transition	United States of America, France, United Kingdom.	Growing adoption with infrastructure incentives.
Moderate adoption with barriers	Mexico, Brazil, South Africa.	Limited infrastructure, intermittent incentives, high initial costs.

Source: own elaboration based on Torralba & Medina, 2025; Bencivelli, *et al.* 2024; Quiñónez, *et al.* 2024, IEA, 2023.

A consistent trend emerges across global EV adoption: countries with clear regulations, sustained incentives, and significant infrastructure investments have successfully integrated EVs, whereas those with fragmented policies or insufficient charging networks continue to lag. These findings align with previous research (Torralba & Medina, 2025; IEA, 2024), highlighting the pivotal role of policy stability and financial support in fostering electromobility.

The future of electromobility depends on the intersection of technological progress, infrastructure expansion, and regulatory efficiency. EVs have shifted from an experimental alternative to a central pillar of transportation and energy transition. However, widespread adoption remains constrained by structural barriers, including supply chain vulnerabilities, charging infrastructure gaps, and inconsistent policy incentives. To overcome these challenges and accelerate global EV adoption, key strategies must include:

- Enhancing fiscal and regulatory incentives to lower entry costs for consumers.
- Expanding charging networks and smart grid integration to prevent energy system overloads.
- Boosting investment in battery manufacturing and recycling to reduce dependency on critical materials and improve supply chain resilience.

The next decade will be decisive in shaping a sustainable and inclusive EV ecosystem, where battery innovations improve efficiency, electrical grids become more resilient, and regulatory frameworks ensure equitable access to electromobility. The insights from this study provide a foundation for policymakers, industry leaders, and researchers, guiding them in designing strategies that connect technological advancements with large-scale implementation.

By addressing these barriers and seizing emerging opportunities, electromobility can transition from a promising alternative to a fully integrated, sustainable transportation model, fostering long-term economic, social, and environmental benefits.

CONCLUSIONS

This study provides an updated and structured review of key technologies, challenges, and trends in electric vehicle (EV) development from 2010 to 2025, applying the PRISMA methodology. Unlike previous research that relies on bibliometric analysis, this study systematically integrates technological advancements, persistent barriers, and emerging trends, offering a holistic perspective on the transition to sustainable mobility.

Several bibliometric studies have focused on EV research trends rather than technological and industry challenges. Ibromkhimjon *et al.* (2024) conducted a bibliometric analysis using Scopus covering 1985-2023, primarily identifying frequent authors, publishing countries, and research specializations. Similarly, Barbosa *et al.* (2022) used Web of Science to examine publication growth and citation impact between 2020-2021, while Guevara *et al.* (2021) concentrated on Latin American contributions to electromobility research. Other studies, such as Campoverde-Pillco *et al.* (2024) and Morejón-Monteros *et al.* (2024), have focused on specific aspects of electromobility, including battery reuse and grid impact.

In contrast, this study takes a broader approach, analyzing key EV technologies, market challenges, and regulatory frameworks through a systematic literature review, covering multiple databases and sources. This perspective offers a more comprehensive understanding of electromobility's evolution, highlighting technological advancements, infrastructure investments, and policy developments as key determinants of EV adoption (IEA, 2024).

The findings indicate that countries with clear regulations, fiscal incentives, and charging infrastructure investments have accelerated EV adoption (Torralba & Medina, 2025), while nations with fragmented policies and insufficient infrastructure experience slower growth (Morejón-Monteros *et al.*, 2024). Technological progress—such as battery cost reductions, energy efficiency improvements, and ultra-fast charging systems—has driven market expansion (Nykvist & Nilsson, 2015; Mohtat *et al.*, 2021), yet challenges persist in material dependency, battery recycling, and grid stability (Campoverde-Pillco *et al.*, 2024).

Study Contributions

This study provides a comprehensive analysis of electromobility, integrating technological, economic and regulatory perspectives. Unlike previous studies that examine these aspects separately, this research underscores the need for a holistic approach to facilitate an efficient transition toward EVs.

From a technological perspective, advancements in battery technologies, electrified transmissions, and energy management systems are highlighted, with a focus on efficiency and recyclability challenges. Economically and politically, key factors influencing EV adoption across regions are identified, establishing patterns of success and barriers to implementation. From a sustainability standpoint, the study underscores the urgency of circular economy models, particularly in battery lifecycle management.

A key contribution of this study is the identification of gaps in literature, including:

- The lack of consensus on battery standardization, affecting supply chains, second-life applications, and recycling strategies.
- Limited economic viability assessments of emerging fast-charging technologies and their long-term implications.
- Insufficient discussion on regulatory frameworks for vehicle-to-grid (V2G) integration, despite its potential to optimize energy demand and support EV adoption.

Study Limitations and Future Research

- Despite offering a structured and updated perspective on electromobility, this study has certain limitations:
- Lack of quantitative modeling: While patterns and trends were identified, no economic modeling or adoption forecasts were conducted.

- Global focus without regional specificity: The review considers international trends but does not provide in-depth analysis of developing countries, where challenges may differ significantly.
- Ongoing technological evolution: Given the rapid transformation of the EV sector, advancements in energy storage, smart grids, and materials science could reshape current conclusions.

To address these limitations, future research should focus on:

- Investment models for charging infrastructure: Examining how public and private sector investments influence EV adoption rates (IEA, 2024).
- Battery life cycle impact and sustainability: Assessing the environmental footprint of EVs, from raw material extraction to recycling (Campoverde-Pillco *et al.*, 2024).
- Integration of artificial intelligence (AI) in electromobility: Investigating how AI can enhance energy efficiency, optimize charging networks, and improve EV autonomy (Pellow *et al.*, 2020).
- Comparative analysis of regulatory frameworks: Identifying which policy incentives have been most effective in accelerating EV adoption and their replicability across different regions (Quiñónez Guagua *et al.*, 2024).

Acknowledgments

This work was supported by UNAM PASPA – DGAPA.

- DGAPA PAPIIT IN304122 Methodological Proposal for Measuring Innovation and Absorptive Capabilities 4.0.
- DGAPA PAPIIT IN305525 Impact of Electromobility on the Auto Parts Sector: Opportunities and Challenges.

REFERENCES

- Aganti M., Kumar Gouda P., Kodandapani D., Santhakumar C. & Chokkalingam B. (2022). Investigation of battery management system for electric vehicles wireless power charger. *Materials Today: Proceedings*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.052>
- Agusdinata, D. B., Liu, W., Eakin, H. & Romero, H. (2018). Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda. *Environmental Research Letters*, 13(12). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae9b1>
- Ahuja, J., Dawson, L. & Lee, R. (2020). A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change, *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 12(3), 235-250. <http://dx.doi.org/10.1108/JPEL-02-2020-0011>
- Anastasiadou, K. & Gavanis, N. (2022). State-of-the-Art Review of the Key Factors Affecting Electric Vehicle Adoption by Consumers. *Energies*, 15(24), 9409. <https://doi.org/10.3390/en15249409>
- Arrow (2022). *Principales tendencias y tecnología para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos*. <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/key-trends-and-technology-for-electric-vehicle-charging-infrastructure>
- Barbosa, W., Prado, T., Batista, C., Câmara, J., Cerqueira, R., Coelho, R. & Guarieiro, L. (2022). Electric Vehicles: Bibliometric Analysis of the Current State of the Art and Perspectives. *Energies*, 15, 395, 1-16. <https://doi.org/10.3390/en15020395>

- Barrios, K., Orozco, D., Pérez, E. & Conde, G. (2021). Nuevas recomendaciones de la versión PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Acta Neurológica Colombiana*, 37(2), 105-106. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-87482021000300105
- Basu, P., Jamasb, T. & Sen, A. (2024). Trilemma or Trinity? The nexus of economic growth, circular economy and net zero. *Energy Economics*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107844>
- Bencivelli, L., Jorra, M., Baron, A.L., Suárez-Varela, M. & Vuletic, M. (2024). El auge del coche eléctrico en China y su impacto en la Unión Europea. *Boletín Económico*, 2024/T4. Artículo 03. <https://doi.org/10.53479/37852>
- Burke, A. & Miller, M. (2009). Performance Characteristics of Lithium-ion Batteries of Various Chemistries for Plug-in Hybrid Vehicles. *Institute of Transportation Studies*. <https://escholarship.org/uc/item/3mc7g3vt>
- Calderón-Guizar, J. G. (2010). Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de transmisión. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(4), 445-451. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000400008&lng=es&tlng=es
- Campoverde-Pillco, L. S., Ochoa-Correa, J., Villa-Ávila, D. & Astudillo-Salinas, P. (2024). Reutilización de baterías de vehículos eléctricos para aplicaciones de segunda vida en sistemas eléctricos de potencia: una revisión sistemática. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 31, 95-105. <https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.08>
- Carvalho E., Pinho Brasil Júnior A. & Brasil A. (2023). Impact of electric vehicle emissions in the Brazilian scenario of energy transition and use of bioethanol. *Energy Reports*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.045>
- Chan, C. C. (2007). The State of the Art of Electric Hybrid, and Fuel Cell Vehicle. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704-718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>
- Chinoracky, R., Stalmasekova, N. & Corejova, T. (2022). Trends in the Field of Electromobility—From the Perspective of Market Characteristics and Value-Added Services: Literature Review. *Energies*, 15(17), 6144. <https://doi.org/10.3390/en15176144>
- Cuervo-Cazurra, A., Dieleman, M., Hirsch, P., Rodrigues, S. & Zyglidopoulos, S. (2021). Multinationals' misbehavior. *Journal of World Business*, 56(5). <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2021.101244>
- El Economista (2023). *Parlamento Europeo aprueba la prohibición de los vehículos de gasolina y diésel en el 2035*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Parlamento-Europeo-aprueba-la-prohibicion-de-los-vehiculos-de-gasolina-y-diesel-en-el-2035-20230214-0037.html#:~:text=El%20Parlamento%20Europeo%20aprobó%20formalmente,y%20combatir%20el%20calentamiento%20global>
- EY (2023). *Seis claves para el despliegue definitivo del vehículo eléctrico. Resumen ejecutivo*. https://www.ey.com/es_es/growth/seis-claves-para-despliegue-definitivo-vehiculo-electrico
- Fang, S., Song, J., Song, H., Tai, Y., Li, F. & Sinh, T. (2016). Design and control of a novel two-speed Uninterrupted Mechanical Transmission for electric vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2015.07.006>
- Farfan-Cabrera, L., Erdemir, A., Cao-Romero-Gallegos, J. & Aguilar-Rosas, O. (2024). Electrified tribotesting of lubricants and materials used in electric vehicle drivelines. *Electric Vehicle Tribology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14074-7.00015-7>
- Fernandez, G., Sathik, J. M., Raman, L. A., El-Shahat, A., Hasanien, H. M., Almakhlles, D., Abdel, S. H. E. & Omar, A. I. (2023). Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(4). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101938>

- Ferreira, C. & Sucre, C. (2024). A más baterías de litio, más reciclaje y reúso. *Energías para el futuro*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/a-mas-baterias-de-litio-mas-reciclaje-y-reuso/>
- Gamage, T., Tal, G. & Jenn, A. T. (2023). The costs and challenges of installing corridor DC Fast Chargers in California. *Case Studies on Transport Policy*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.100969>
- Gao, J., Li, Z., Nguyen, T. & Zhang, W. (2025). Digital transformation and enterprise employment. *International Review of Economics & Finance*, 99, 104036. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104036>
- Gokasar, I., Deveci, M., Isik, M., Daim, T., Zaidan, A. & Smarandache, F. (2023). Evaluation of the alternatives of introducing electric vehicles in developing countries using Type-2 neutrosophic numbers based RAFSI model. *Technological Forecasting and Social Change*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122589>
- Guevara, M. A., Río-Belver, R. M., Martínez, I. & Morales, C. (2021). Análisis bibliométrico de la contribución científica latinoamericana en vehículos eléctricos. *Dirección y Organización*, (75), 62-73. <https://doi.org/10.37610/dyo.v0i75.610>
- Helmers, E. & Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(14). <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14>
- Horst, M., Burmeister, J., Abdollahifar, M., Pillitteri, S. & Kwade, A. (2023). A binder-free dry coating process for high sulfur loading cathodes of Li-S batteries: A proof-of-concept. *Journal of Power Sources*, 587, 233675. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233675>
- Husain, I., Ozpineci, B., Islam, Md., Gurpinar, E., Su, G. Y., Wensong, Y., Chowdhury, Sh., Xue, L., Rahman, D. & Sahu, R. (2021). "Electric Drive Technology Trends, Challenges and Opportunities for Future Electric Vehicles". *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 1039-1059. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2020.3046112>
- Ibrokhimjon, A., Lin, N. & Rashidov, J. (2024). Electric Vehicles: Manuscript of a Bibliometric Analysis Unveiling Trends, Innovations and Future Pathways. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 8(2), 212-224. <https://doi.org/10.30939/ijastech..1424879>
- International Energy Agency [IEA] (2023). *Global EV Outlook 2023: Policy Developments*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/policy-developments>
- International Energy Agency [IEA] (2024). *Global EV Outlook 2024*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/executive-summary>
- Jiang, Y., Xia, B., Zhao, X., Nguyen, T., Mi, C. & de Callafon, R. (2017). Data-based fractional differential models for non-linear dynamic modeling of a lithium-ion battery. *Energy*, 135(C). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.109>
- Karimabadi, M. S. A. & Leal-Arcas, R. (2023). Chapter 16 - Electricity decentralization and energy transition in Luxembourg. In R. Leal-Arcas (Ed.), *Electricity Decentralization in the European Union: Towards Zero Carbon and Energy Transition*, (pp. 425-434). <https://doi.org/10.1016/C2022-0-01938-3>
- Kett, E. (2018). *Electromobility. The future, but when?* <https://www.thersa.org/blog/2018/12/electromobility.-the-future-but-when>
- Khan, A., Naqvi, I., Bhargava, C., Lin, C., Boles, S., Kong, L. & Pecht, M. (2025). Safety and reliability analysis of lithium-ion batteries with real-time health monitoring. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115408>
- Koroma, M. S., Costa, D., Philippot, M., Cardellini, G., Hosen, M. S., Coosemans, T. & Messagie, M. (2022). Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management. *Science of The Total Environment*, 831, 154859. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154859>

- Liu, X., Zhao, F. & Liu, Z. (2022). Energy-saving cost-effectiveness analysis of improving engine thermal efficiency and extending all-electric range methods for plug-in hybrid electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115898>
- Locke, J. (2021). ¿Cómo se desarrolla y crece la infraestructura de los vehículos eléctricos en Estados Unidos? <https://es.digi.com/blog/post/ev-infrastructure>
- Lopez-Arboleda, E., Sarmiento, A. & Cardenas, L. (2023). Policy assessment for electromobility promotion in Colombia: A system dynamics approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103799>
- Mateen, S., Amir, M., Haque, A. & Bakhsh, F. I. (2023). Ultra-fast charging of electric vehicles: A review of power electronics converter, grid stability and optimal battery consideration in multi-energy systems. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 35, 101112. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101112>
- Mercado, A. & Córdova, K. (2014). Desarrollo tecnológico en baterías e impulsión eléctrica ¿Sistemas tecnológicos disruptivos promovidos por imperativos ambientales? *Cuadernos del CENDES*, 31(85), 1-21. <https://www.redalyc.org/pdf/403/40331800002.pdf>
- Milde, W. & Lux, S. (2025). Cell and Battery Design – Batteries | Hardware. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96022-9.00253-X>
- Mohammad, N. K. & Shavarebi, K. (2019). A review of global automotive industry's competitive strategies. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 16(4), 170-183. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-10-2018-0060>
- Mohtat, P., Pannala, S., Sulzer, V., Siegel, J. B. & Stefanopoulou, A. G. (2021). An Algorithmic Safety VEST For Li-ion Batteries During Fast Charging. *arXiv:2108.07833*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.07833>
- Montayo, A. (2021). Electromovilidad en Chile 2020. *Asociación Gremial de Vehículos en Chile*, febrero, 1-6. <https://www.avec.cl/wp-content/uploads/2021/03/Electromovilidad-en-Chile-2020.pdf>
- Morales, E. (2023). *Electromovilidad. Infraestructura de carga: el gran reto de México*. <https://alianzaautomotriz.com/electromovilidad-infraestructura-de-carga-el-gran-reto-de-mexico/>
- Morejón-Monteros, P., Banegas-Arias, D. & Ochoa-Correa, D. (2024). Impacto de la carga lenta de vehículos eléctricos en la calidad de energía de la red de distribución: una revisión sistemática de la literatura. *Revista Cedamaz*, 14(1), 69-79. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v14i1.2220>
- Moyo, T., Onososen, A. O., Musonda, I. & Muzioreva, H. (2023). Advancements in E-mobility: A bibliometric literature review on battery technology, charging infrastructure, and energy management”. En Musonda, I., Mwanaumo, E., Onodosen, A. & Moyo, T. (Eds.) *Smart and Resilient Infrastructure For Emerging Economies: Perspectives on Building Better*. London: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003435648>
- Negrete, M., Fuentes, M., Kraslawski, A., Irarrazaval, F. & Herrera-León, S. (2024). Socio-environmental implications of the decarbonization of copper and lithium mining and mineral processing. *Resources Policy*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105135>
- Nykqvist, B. & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5, 329-332. <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>
- Orendain, M. (2023). *Evolución de las autopartes para vehículos eléctricos en México*. México: INA <https://ina.com.mx/wp-content/uploads/2023/06/Whitepaper-web.pdf>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Aki, E. A., Brenna, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. & Stewart, L. A. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, *BMJ*, 372: n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Pakniyat A. & Caines P. (2017). Hybrid optimal control of an electric vehicle with a dual-planetary transmission. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.nahs.2016.08.004>
- Pellow, M., Ambrose, H., Mulvaney, D., Betita, R. & Shaw, S. (2020). Research gaps in environmental life cycle assessments of lithium ion batteries for grid-scale stationary energy storage systems: End of life options and other issues. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00120. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00120>
- Pirmana, V., Alisjahbana, A. & Yusuf, A. (2023). Economic and environmental impact of electric vehicles production in Indonesia. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02475-6>
- Prakhar, P., Jaiswal, R., Gupta, S. & Tiwari, A. (2024). Electric vehicles in transition: Opportunities, challenges, and research agenda – A systematic literature review. *Journal of Environmental Management*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123415>
- Quiñónez, E. F., Cambindo, B. K., Macas, D. R. & Ulloa, R. C. (2024). Desafíos y beneficios de implementar un sistema de carga para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe. *Reincisol*, 3(6), e3.6–212. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)485-505](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)485-505)
- Rachidi, N., Nwaila, G., Zhang, S., Bourdeau, J. & Ghorbani, Y. (2021). Assessing cobalt supply sustainability through production forecasting and implications for green energy policies. *Resources Policy*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102423>
- Ran, W. & Duan, Y. (2025). Competing manufacturers blockchain technology adoption strategies for carbon emission misrepresentation under cap-and-trade regulation. *Computers & Industrial Engineering*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.110960>
- Rodríguez, D., Gómez, R. & Campos, A. (2015). Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS). *Revista Tecnura*, 19, 51-56. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.ICE.a05>
- Romero-Carrión, D. & Carrión-Galarza, D. (2022). Análisis bibliométrico de la planeación de expansión de los sistemas eléctricos de potencia. *Iteckne*, 18(2). <https://doi.org/10.15332/iteckne.v18i2.2610c>
- Saraswathi, V. & Ramachandran, V. (2024). A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles. *Heliyon*, 10(20), 1-53. e38945. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38945>
- Shabana, R., Sajid, Z., Swamy, D., Amin, M. & Khan, F. (2025). Why does the industry need battery safety management system (BSMS)? *Process Safety and Environmental Protection*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107029>
- Shahzad, K. & Iqbal, I. (2024). Low-carbon technologies in automotive industry and decarbonizing transport. *Journal of Power Sources*, 591. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233888>
- Sun, W., Zhang, Z., Chen, Y. & Luan, F. (2023). Heterogeneous effects of robots on employment in agriculture, industry, and service sectors. *Technology in Society*, 75, 102371. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102371>
- Tarascon, J. M. & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414, 359-367. <https://www.nature.com/articles/35104644>
- Torrallba, C. & Medina, M. A. (2025). Por qué Noruega vende ya el 90% de coches eléctricos: exención de IVA, peajes gratis e impuestos para los de combustión. *El País*. https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-01-08/por-que-noruega-vende-ya-el-90-de-coches-electricos-exencion-de-iva-peajes-gratis-e-impuestos-para-los-de-combustion.html?utm_source=chatgpt.com

- Velasco-Ramírez, E., Ángeles-Camacho, C. & García-Martínez, M. (2013). Redes de transmisión inteligente. Beneficios y riesgos. *Ingeniería. Investigación y tecnología*, 14(1), 81-88. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40425635007.pdf>
- Walters, L. & Brusselaers, J. (2024). The energy transition paradox: How lithium extraction puts pressure on environment, society, and politics. *The Extractive Industries and Society*, 19, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101498>
- Woorward, M., Walton, B., Halmiton, J., Alberts, G., Fullerton-Smith, S. & Day, E. (2020). Electric vehicles. Setting a course for 2030. *Deloitte*. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>
- World Bank [WB] (2022). *Electric Vehicles: An Economic and Environmental Win for Developing Countries*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/11/17/electric-vehicles-an-economic-and-environmental-win-for-developing-countries>
- World Economic Forum [WEF] (2018). *How electric vehicles are the start of a global shift in our attitudes*. https://www.weforum.org/agenda/2018/04/not-so-fast-why-the-electric-vehicle-revolution-will-bring-problems-of-its-own/?alm_mvr=0
- Yang, Y., Wang, W., Qin, J., Wang, M., Ma Q. & Zhong Y. (2024). Review of vehicle to grid integration to support power grid security. *Energy Reports*, 12, 2786-2800. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.08.069>
- Yang, Z. (2023, febrero 21). How did China come to dominate the world of electric cars?, *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2023/02/21/1068880/how-did-china-dominate-electric-cars-policy/>
- Xu B., Lee J., Kwon D., Kong L. & Pecht M. (2021). Mitigation strategies for Li-ion battery thermal runaway: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111437>
- Xu, J. & Cao, B. (2015). Battery Management System for Electric Drive Vehicles-Modeling, State Estimation and Balancing, In M. Chomat (Ed.) *New Applications of Electric Drives*. <https://doi.org/10.5772/61609>