

# ¿Se retroalimentan las energías renovables con el crecimiento económico en México?: análisis del 2013-2020

JUAN JOSÉ ESPARZA LÓPEZ\*  
CLEMENTE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ\*\*

## RESUMEN

Este artículo analiza empíricamente las relaciones causales de las energías renovables y no renovables en el crecimiento económico de México de 2013 a 2020, utilizando la metodología de modelo autorregresivo con rezagos distribuidos con el vector corrector de errores y la prueba de causalidad de largo plazo de Toda y Yamamoto. Además de utilizar pruebas de estacionariedad y cointegración, se utilizaron como variables de control a la fuerza laboral, la formación de capital, la contaminación y la apertura económica. Dentro de los principales hallazgos, se muestra que, para hallar mejores estimadores, se deben analizar los efectos por fuente de energía tanto renovable como no renovable. Para las energías no renovables, energía renovable, hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica no se identificaron efectos causales de largo plazo. Aunque para la energía geotérmica se identificó una retroalimentación de largo plazo.

**Palabras clave:** Crecimiento económico, causalidad, energías renovables, energía no renovable.

**Clasificación JEL:** O20, Q40, Q42.

---

\* Doctorado en Estudios Económicos, Universidad de Guadalajara, México. Correo-e: Jjose.esparza@alumnos.udg.mx. ORCID: 0000-0002-6478-1120.

\*\* Departamento de Economía, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Universidad de Guadalajara, México. Correo-e: clemente@academicos.udg.mx. ORCID: 0000-0003-3023-9090.

## ABSTRACT

### **Are renewable energies feedback with economic growth in Mexico? Analysis from 2013 to 2020.**

This paper analyzes empirically the causal relationships of renewable and non-renewable energies in Mexico's economic growth from 2013 to 2020, using the methodology of autoregressive with distributed lags with the vector error correction (ARDL with VEC) model and the Toda and Yamamoto long-term causality test. In addition to using stationarity and cointegration tests, labor force, capital formation, pollution, and economic openness were used as control variables. Among the main findings, it is shown that, in order to produce better estimators, the effects by source of both renewable and non-renewable energy must be analyzed, as well as each one of them when this is possible. For non-renewable energies, renewable, hydroelectric, wind and photovoltaic energy, no long-term causal effects were identified. Though for geothermal energy, long-term feedback was identified.

**Keywords:** Economic growth, causality, renewable energy, non-renewable energy.

**JEL Classification:** O20, Q40, Q42.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo mostrar la importancia que tiene el analizar los efectos individuales de cada fuente de energía sobre el crecimiento económico para México de 2013 a 2020, periodo que comprende la reforma energética del 2013 y la contra reforma del 2018. Se plantea la hipótesis que, al tratar todas las fuentes de energía por igual, los efectos identificados serán sesgados. Se acepta la limitación que tiene el espacio de tiempo reducido para poder obtener las medidas de producción desagregadas y medir los efectos que la reforma energética del 2013 ha tenido sobre el crecimiento económico. Aunque el estudio de la energía en el crecimiento económico no es novedoso a nivel mundial ni para el caso de México, no existen estudios para México con variables desagregadas, por lo cual las conclusiones de este estudio pueden explicar esos huecos en el conocimiento.

La evolución de producción de energía en México ha pasado de privilegiar el uso de productos derivados del petróleo hasta 1990 (Islas

*et al.*, 2001); a buscar homogenizar con las tendencias globales, para ello se han planteado objetivos de crecimiento de la producción de energías limpias sobre el total de energía del 35% en 2024 (Múlas, 2019). Para ello en 2013 se modifica la Constitución para permitir una mayor competencia en la generación de electricidad (Bryner, 2016). Sin embargo, desde 2018 las leyes de la administración federal han dado lugar a nuevas prioridades, que podría ocasionar un retroceso en la transición energética (SENER, 2020).

Una de las principales cuestiones en la teoría económica es explicar cómo se da el crecimiento económico y los beneficios del crecimiento económico para la sociedad, partiendo de la explicación de que la tasa de ahorro va dirigida a inversiones en capital (Solow, 1956). Sin embargo, este crecimiento se puede dar por incrementos en la productividad, por avances tecnológicos, ya sean dirigidos (Hicks, 1932); favorecidos por las instituciones (Acemoglu y Robinson, 2012); o a través de un aprendizaje basado en la práctica (Arrow, 1962). Este progreso tecnológico puede ser explicado en sentido amplio en la difusión del conocimiento y la inversión en investigación o el aprovechamiento del avance de otros países a partir del comercio internacional (Romer, 1990; Helpman y Krugman, 1985).

También se plantea la idea de que este crecimiento no puede ser eterno sin considerar el daño ambiental ocasionado por el avance tecnológico y el incremento de los bienes de consumo, además de considerar que los recursos no son infinitos (Georgescu-Roegen, 1977; Nordhaus, 1977). Para evitar los problemas de la escasez impuesta por la naturaleza, las mejoras en la tecnología pueden ser utilizadas para desarrollar bienes que contaminen menos y tengan una mayor productividad (Solow, 1974; Nordhaus, 1973). La energía que es necesaria para la transformación, distribución y progreso de bienes que impulsa el crecimiento económico, al ser generada principalmente de fuentes no renovables, puede, por otro lado, restringir el crecimiento económico (Ayres y Kneese, 1969, Payne, 2010). Por ello, el desarrollo de energías renovables sirve para continuar con el crecimiento económico (Brock y Taylor, 2004; Loaiza, 2018, Consejo de Energía Mundial, 2016).

A nivel mundial, se entiende por transición energética el optar por una mayor cantidad de energía a partir de fuentes renovables y mantener o en algunos casos disminuir la energía a partir de hidrocarburos. La transición energética se ha impulsado llevando a que la

nueva generación de electricidad sea 90% renovable (Loaiza, 2018) El caso mexicano no ha sido la excepción, buscando este impulso a través de reformas en el sector energético en 2014, buscando incrementar el porcentaje de energía renovable, aprovechando la gran cantidad de recursos naturales de la nación (Gutiérrez, 2014; Alemán *et al.*, 2014; SEGOB, 2013). Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), se ha pasado de producir 40,732 Gigawatts por hora de energía renovable en el año 2000 hasta 54,770 en el año 2018, además de plantear diferentes metas que logren a una transición del 40% de la producción de energía limpia para el 2035 y de un 50% para el 2050 (IRENA, 2015; IRENA, 2020).

Si se optará por esta transición energética cada vez más, se deben analizar los efectos que tiene la disminución de la energía a base de petróleo para conocer la repercusión que tendrá sobre la economía, buscando que haya un efecto de sustitución, para mejorar la calidad ambiental sin perjudicar el avance de la economía (Shahbaz *et al.*, 2014; Marinaş *et al.*, 2018). En este estudio, se plantea el objetivo de identificar los efectos individuales por producción de energía para el caso mexicano.

En cuanto a los efectos analizados sobre la relación entre energía y economía, se han identificado los efectos sobre el empleo (El Mummy *et al.*, 2021; Çelik, 2021; Gonçalves, *et al.*, 2020), la inversión extranjera directa (Balsalobre *et al.*, 2021; Parab *et al.*, 2020; Qamruzzaman y Jianguo, 2020), las exportaciones e importaciones (Rafindadi y Ozturk, 2016; Ben *et al.*, 2016; Ben y Ben, 2015), los precios de la energía (Ike *et al.*, 2020; Abid, 2020 y Alsaedi *et al.*, 2020) y la contaminación medida por las emisiones de CO2 (Bekun *et al.*, 2021; Adebayo y Rjoub, 2021; Adebayo *et al.*, 2020). Para este estudio se opta por analizar la principal variable de interés en la economía, a saber: el crecimiento económico (Acheampong *et al.*, 2021; Usman *et al.*, 2020; Ozcan *et al.*, 2020).

En el siguiente apartado se analiza la revisión de literatura disponible, enfatizando aquellos estudios que utilizan a México como estudio de caso individual o incluyan a México dentro de los países analizados. En el segundo apartado se presenta la metodología para identificar los efectos causales a través del modelo autorregresivo de rezagos distribuidos. En el tercer apartado se realiza el análisis estadístico, seguido de la construcción de variables y los análisis econométricos realizados. En el cuarto apartado se presentan los resultados comparativos de los

efectos causales por fuente de generación de energía. Por último, se presentan las conclusiones.

## **1. REVISIÓN DE LA LITERATURA EMPÍRICA: CRECIMIENTO ECONÓMICO Y ENERGÍAS RENOVABLES**

En esta sección se presentará la revisión de literatura empírica partiendo de la explicación teórica-conceptual y los estudios empíricos de la relación entre energía y crecimiento económico. Luego, se plantea el mismo formato para la relación entre la energía renovable y el crecimiento económico. Por último, se presentan de forma acotada las principales variables de control utilizadas, así como los procesos metodológicos empleados.

La literatura existente sobre el impacto de las energías limpias y convencionales es extensa y se centra especialmente en el impacto que tiene sobre el crecimiento económico, donde se identifican cuatro posturas bien definidas. La primera, conocida como hipótesis de neutralidad, se refiere a que la economía está desacoplada del consumo de energía y que los efectos son mínimos para validarlos econométricamente (Pérez *et al.*, 2020; Raza *et al.*, 2020; Alvarado *et al.*, 2019). La segunda, argumenta que la relación de crecimiento y energía se da en una sola dirección, o sea, de la producción a la energía (hipótesis de conservación); la tercera, de la energía a la producción (hipótesis de crecimiento) (Razmi *et al.*, 2020; Azam *et al.*, 2021; Yang y Kim; 2020). La cuarta, argumenta que existe una relación de sinergia o bidireccional, tanto la producción impulsa a la energía y viceversa (hipótesis de retroalimentación) (Marinaş *et al.*, 2018; Le y Bach, 2020; Le y Sarkodie, 2020;).

El análisis de la energía y el crecimiento económico ha tenido gran interés de análisis a partir de los hallazgos de la investigación pionera realizada para Estados Unidos de 1947 a 1974, donde se identificó que existe una relación unidireccional del PIB al consumo de energía y se concluyó que, si el consumo de energía está relacionado con la actividad económica, las políticas de ahorro de energía son inaceptables (Kraft y Kraft, 1978). Además, aunque en el corto plazo no exista una relación entre el consumo de energía y la actividad económica, esta relación en ocasiones ocurre en el largo plazo, por lo cual los efectos no deben ser considerados solo en el corto plazo para el desarrollo

de políticas (Latief *et al.*, 2020, Abdollahi, 2020, Azam *et al.*, 2021, Nguyen y Ngoc, 2020).

En los periodos más recientes el interés se ha centrado en diferenciar los efectos entre fuentes no renovables y renovables para impulsar el crecimiento económico en países en desarrollo. Se concluye que existen efectos de conservación, crecimiento o de retroalimentación a partir de las energías renovables, por lo cual las políticas de ahorro afectarían de forma negativa el crecimiento económico (Le y Sarkodie, 2020; Le, 2020; Abid *et al.*, 2020, Razmi *et al.*, 2020, Le y Bach, 2020). Sin embargo, a pesar de que se puedan identificar hipótesis de neutralidad como para el caso de Malasia de 1989 a 2018, se prefiere optar por consumo de energía renovable por sus efectos positivos en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Raza *et al.*, 2020). Asimismo, el efecto puede ser negativo como lo identificado para los BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) de 1994 a 2015, pero este efecto negativo puede ser menor a través de la educación y concienciación medioambiental (Tsaurai y Ngcobo, 2020). Entre 1995 y 2014, para 15 países del Este de África se identificaron los mismos resultados, por lo que el consumo de energía renovable puede frenar al crecimiento, esto podría atribuirse a que la energía renovable más popular en esta región es la biomasa de madera, que en su mayoría es impura y hace falta más procesamiento para aprovecharla (Maji *et al.*, 2019).

Si bien los estudios se han centrado en la distinción entre fuentes de energía renovables y no renovables, las fuentes de energía renovable tampoco deben considerarse homogéneas debido a las limitaciones de escasez o los costos de contaminación, por esta razón, algunos estudios han intentado identificar estos impactos diferenciales. Por ejemplo, Sulub *et al.* (2020) encontraron para Malasia entre 1978 y 2017 que la energía hidroeléctrica tiene un efecto de ahorro, por lo que no afecta el crecimiento económico. Mientras que la producción de energía de biomasa sí resultó significativa para explicar el crecimiento para la Unión Europea (Busu, 2020). Sin embargo, la misma fuente de energía no tiene el mismo efecto en diferentes países, por ejemplo, la producción de energía solar y eólica es positiva para Canadá, EE. UU., Corea del Sur, Alemania, India y España, pero no para China y Dinamarca (Yang y Kim, 2020). Para los países europeos la cantidad total de energías renovables no resulta ser significativa, la energía eólica aumenta con el crecimiento económico, en España la energía solar muestra un efecto

positivo en el crecimiento (Pérez *et al.*, 2020). Asimismo, la energía nuclear tiene un efecto positivo en el crecimiento económico (Pilawowska *et al.*, 2020). Al igual que las fuentes de energía renovables, las fuentes de energía no renovables también difieren, lo que afecta positivamente el consumo de energía de gas natural en Malasia (Etokakpan *et al.*, 2020). En el caso de Brasil, también es importante la producción de energía hidroeléctrica y otras fuentes de energía renovable, además del gas natural (Hdom y Fuinhas, 2020).

Para México, no hay muchos análisis de un solo país que vinculen la energía con el crecimiento económico, pero está más involucrado en estudios grupales que determinan los efectos del crecimiento (Acheampong *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2019; Miranda *et al.*, 2020). Sin embargo, al analizar los efectos de cada país por separado, México no mostró una relación significativa (Bhattacharya *et al.*, 2016). Estos resultados no difirieron entre los niveles de desarrollo de los países (Singh *et al.*, 2019). Por otro lado, se han identificado efectos bidireccionales para los países de la OCDE (Ozcan *et al.*, 2020) y específicamente para el caso de México (Odugbesan y Rjoub, 2020; Tong *et al.*, 2020). Así mismo, existen diferencias entre continentes, para América y Europa existe una relación de retroalimentación, mientras que para África y Asia existe una relación de conservación (Usman *et al.*, 2020). Al diferenciar el nivel de ingresos, si bien resulta importante para todos los niveles de ingresos, el impacto es mayor para los grupos de ingresos más bajos e ingresos altos (Alvarado *et al.*, 2019).

Los estudios en México incluyen un estudio de Gómez *et al.* (2015) quienes analizaron la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico desde 1971 hasta 2011 y encontraron una relación causal entre el crecimiento económico y el consumo de energía. Como resultado, las políticas de eficiencia energética pueden tener poco o ningún impacto en la economía. Y un trabajo de extensión de los mismos autores (Gómez *et al.*, 2018) que analizó el período de 1971 a 2013 para encontrar una relación causal bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico en el largo plazo, aunque los resultados difieren cuando se incluyen las exportaciones o las importaciones en el análisis de corto plazo, el impacto de reducir el consumo de energía puede compensarse con políticas comerciales. Sin embargo, estos estudios no distinguieron entre fuentes de energía renovables y no renovables al analizar el

consumo de energía. El único estudio que analizó estas diferencias entre 1990 y 2017, Mele, (2019) concluye que el consumo de energía renovable tiene un impacto positivo sobre el crecimiento económico, aunque este estudio no diferencia entre fuentes de energía renovable y no incluye variables de control.

El cuadro 1, muestra la revisión de la literatura donde se determina que las variables de control más utilizadas son formación bruta de capital y fuerza laboral que parten del modelo de Solow (Acheampong *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2019; Bhattacharya *et al.*, 2016), apertura económica (Usman *et al.*, 2020; Etokakpan *et al.*, 2020; Le, 2020) y emisiones de CO<sub>2</sub> (Odugbesan y Rjoub, 2020; Tong *et al.*, 2020; Miranda *et al.*, 2020). Así mismo se identificó la principal metodología utilizada al revisar las relaciones causales de largo plazo: el modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) (Tong *et al.*, 2020; Odugbesan y Rjoub, 2020; Busu, 2020; Yang y Kim, 2020; Etokakpan *et al.*, 2020; Sulub *et al.*, 2020; Raza *et al.*, 2020; Razmi *et al.*, 2020; y Nguyen y Ngoc; 2020).

CUADRO 1  
RESUMEN DE LA REVISIÓN DE LITERATURA EMPÍRICA

Autor	Título del artículo	Variables	Modelos	Resultados
Kraft y Kraft (1978)	On the Relationship Between Energy and GNP	PIB y producción total de energía	Causalidad Granger	Conservación
Pérez <i>et al.</i> (2020)	Energy Transition Towards a Greener and More Competitive Economy	PIB, Consumo total de energía, Consumo de energía renovable, Consumo de energía eólica y Consumo de energía solar.	Causalidad Granger	Neutralidad-Renovable Conservación-Eólica Bidireccional-Solar
Raza <i>et al.</i> (2020)	Renewable Energy Use and Its Effects on Environment and Economic Growth: Evidence from Malaysia	PIB, Uso de energía renovable y Emisiones de CO <sub>2</sub>	ARDL	Neutralidad
Alvarado <i>et al.</i> (2019)	Sustainable and non-sustainable energy and output in Latin America: A cointegration and causality approach with panel data	PIB, Consumo de energía renovable y Consumo de energía no renovable	MCODP	Neutralidad
Razmi <i>et al.</i> (2020)	The relationship of renewable energy consumption to stock market development and economic growth in Iran	PIB, Bolsa de valores, consumo de energía renovable y energía no renovable.	ARDL VEC	Conservación



CUADRO 1 (CONTINUACIÓN)

Autor	Título del artículo	Variables	Modelos	Resultados
Azam <i>et al.</i> (2021)	Investigation the impact of renewable electricity consumption on sustainable economic development: a panel ARDL approach	PIB, emisiones de CO <sub>2</sub> , capital, fuerza laboral, apertura económica, consumo de energía renovable y no renovable.	ARDL	Conservación
Le y Sarkodie (2020)	Dynamic linkage between renewable and conventional energy use, environmental quality and economic growth: Evidence from Emerging Market and Developing Economies	PIB per cápita, gasto del gobierno, apertura económica, capital, uso de energía no renovable y consumo de energía renovable	Causalidad panel Dumitrescu y Hurlin	Retroalimentación
Yang y Kim (2020)	Revisiting the Relation between Renewable Electricity and Economic Growth: A Renewable-Growth Hypothesis	PIB, uso de energía no renovable, producción de energía solar, producción de energía eólica, capital y fuerza laboral	ARDL	Crecimiento
Marinaş <i>et al.</i> (2018)	Renewable energy consumption and economic growth. Causality relationship in Central and Eastern European countries	PIB, poder adquisitivo, consumo de energía renovable.	ARDL	Retroalimentación
Le y Bach (2020)	The energy consumption structure and African EMDE's sustainable development	PIB, capital, apertura económica, gasto del gobierno, consumo de energía renovable y no renovable	Causalidad panel Dumitrescu y Hurlin	Retroalimentación
Latief <i>et al.</i> (2020)	Conceptualizing Pathways of Sustainable Development in the Union for the Mediterranean Countries with and Empirical Intersection of Energy Consumption and Economic Growth	PIB, consumo de energía, desarrollo sustentable, capital, fuerza laboral, inversión extranjera directa, población, desarrollo financiero, apertura económica e inflación.	VECM	Crecimiento
Abdohalli (2020)	Investigating Energy Use, Environment Pollution and Economic Growth in Developing Countries	PIB per cápita, emisiones de CO <sub>2</sub> , uso de energía, fuerza laboral, población total, población urbana, capital, desarrollo financiero y apertura económica	Modelo autorregresivo espacial	Crecimiento
Nguyen y Ngoc (2020)	Energy Consumption-Economic Growth Nexus in Vietnam: An ARDL Approach with a Structural Break	PIB per cápita, consumo de energía eléctrica, dummy de cambio estructural	ARDL y Toda Yamamoto	Retroalimentación

CUADRO 1 (CONTINUACIÓN)

Autor	Título del artículo	Variables	Modelos	Resultados
Abid <i>et al.</i> (2020)	Incorporation Environmental Pollution and Human Development in the Energy-Growth Nexus: A Novel Long Run Investigation for Pakistan	PIB, consumo de energía renovable y consumo de energía no renovable, emisiones de CO <sub>2</sub> , índice de desarrollo humano, patentes y población	MCOCM	Crecimiento
Tsaurai y Ngcobo (2020)	Renewable Energy Consumption, Education and Economic Growth in Brazil, Russia, India, China, South Africa	PIB, consumo de energía renovable, educación, inversión extranjera directa, desarrollo de infraestructura, desarrollo financiero y apertura económica	MCOCM y Agrupados	Crecimiento
Maji <i>et al.</i> (2019)	Renewable energy consumption and economic growth nexus: A fresh evidence from West Africa	PIB, consumo de energía renovable, consumo de energía biomasa, estabilidad política, capital y fuerza laboral	MCOD	Crecimiento
Sulub <i>et al.</i> (2020)	Renewable Energy Supply and Economic Growth in Malaysia: An Application of Bounds Testing and Causality Analysis	PIB, producción de energía hidroeléctrica, consumo total de energía eléctrica y capital	ARDL VEC	Conservación
Busu (2020)	Analyzing the Impact of the Renewable Energy Sources on Economic Growth at the EU Level Using and ARDL Model	PIB per cápita, producción de energía hidroeléctrica, eólica, solar, biomasa, geotérmica, recursos, fuerza laboral e inversión y desarrollo	ARDL VEC	Crecimiento
Pilatowska <i>et al.</i> (2020)	The Effect of Renewable and Nuclear Energy Consumption on Decoupling Economic Growth from CO <sub>2</sub> Emissions in Spain	PIB, consumo de energía nuclear, consumo de energía renovable y emisiones de CO <sub>2</sub>	VAR con umbrales	Retroalimentación -Nuclear Crecimiento -Renovables
Etokakpan <i>et al.</i> (2020)	Modeling natural gas consumption, capital formation, globalization, CO <sub>2</sub> emissions and economic growth nexus in Malaysia: Fresh evidence form combined cointegration and causality análisis	PIB, capital, emisiones de CO <sub>2</sub> , índice de globalización y consumo de gas natural	ARDL	Crecimiento

CUADRO 1 (CONTINUACIÓN)

Autor	Título del artículo	Variables	Modelos	Resultados
Hdom y Fuinhas (2020)	Energy production and trade openness: Assessing economic growth, CO2 emissions and the applicability of the cointegration análisis	PIB, emisiones de CO2, producción de energía hidroeléctrica, producción de gas natural, energías renovables y apertura económica	MCOCM, MCOD y Toda Yamamoto	Crecimiento - energías renovables Neutralidad -hidroeléctrica
Acheampong <i>et al</i> (2021)	Revisiting the economic growth-energy consumption nexus: Does globalization matter?	PIB per cápita, capital, fuerza laboral, consumo de energía, globalización, gasto del gobierno, educación y precios al consumidor	MGM	Crecimiento
Bhattacharya <i>et al</i> (2016)	The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries	PIB, capital, fuerza laboral, consumo de energía renovable y no renovable	MCOCM y MCOD	Crecimiento
Ozcan <i>et al</i> (2020)	Energy consumption, economic growth and environmental degradation in OECD countries	PIB, consumo de energía, emisiones de CO2 e índice ecológico	Causalidad panel Dumitrescu y Hurlin	Retroalimentación
Odugbesan y Rjoub (2020)	Relationship Among Economic Growth, Energy Consumption, CO2 Emission, and Urbanization: Evidence From MINT Countries	PIB per cápita, población urbana, emisiones de CO2 y consumo de energía	ARDL	Retroalimentación
Tong <i>et al</i> (2020)	Economic growth, energy consumption, and carbon dioxide emissions in the E7 countries: a bootstrap ARDL bound test	PIB per cápita, consumo de energía y emisiones de CO2	ARDL	Crecimiento -Largo plazo India Retroalimentación -Corto plazo México
Usman <i>et al</i> (2020)	An empirical nexus between economic growth, energy utilization, trade policy, and ecological footprint: a continent-wise comparison in upper-middle-income countries	Déficit ambiental, PIB, inversión extranjera directa, consumo de energía, consumo de energía renovable y apertura económica	Causalidad panel Dumitrescu y Hurlin	Retroalimentación -Europa y América Conservación - África y Asia
Gómez <i>et al</i> (2018)	Consumo de energía, crecimiento económico y comercio: Un análisis de causalidad para México	PIB, exportaciones, importaciones, capital, fuerza laboral y consumo de energía	ARDL y Toda Yamamoto	Retroalimentación
Mele (2019)	Renewable energy consumption: the effects on economic growth in México	PIB, consumo de energía renovable, capital y fuerza laboral.	Toda Yamamoto	Conservación

Nota: ARDL (modelo autorregresivo con rezagos distribuidos), MCOCM (mínimos cuadrados ordinarios completamente modificados), MCOD (mínimos cuadrados ordinarios dinámicos), VAR (vector autorregresivo), VEC (vector corrector de error), VECM (modelo del vector corrector de error) y MGM (método generalizado de momentos)

Fuente: elaboración propia.

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la descripción metodológica: se comienza por la descripción de las variables, una breve explicación de los hechos estilizados, se realiza un ajuste estacional X13ARIMA-SEATS para desestacionalizar las variables. Luego se pasa a demostrar si las variables son estacionarias mediante las pruebas de raíz unitaria de DFA (Dickey-Fuller Aumentada) y PP (Phillips-Perron). Para mostrar que las relaciones causales son de largo plazo, se realizan pruebas de cointegración mediante la prueba de límites del modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) y, por último, para identificar las relaciones causales se utiliza el VEC (vector corrector de errores) del modelo ARDL (autorregresivo con rezagos distribuidos).

### 2.1. Modelos econométricos

La función de producción aumentada se utiliza para mostrar que el crecimiento de energía también contribuye al crecimiento económico, es decir, la producción económica depende del capital, el trabajo y otras variables macroeconómicas y ambientales, como la apertura económica y la contaminación (Acheampong *et al.*, 2021) 2020; Lee, 2020; Odugbesan y Rjoub, 2020). En este estudio, se supone que el contexto de la función de producción es tal que el consumo de energía, el capital, la mano de obra, la apertura económica y la contaminación se tratan como insumos de producción separados, siendo la forma funcional la siguiente:

$$PIB_t = f(E_t, K_t, L_t, AE_t, C_t) \quad (1)$$

donde el producto interno bruto real (PIB) en el periodo  $t$  es función de capital ( $K$ ), trabajo ( $L$ ), apertura económica ( $AE$ ), contaminación ( $C$ ) y energía ( $E$ ). La ecuación (1) puede ser parametrizada, aplicando logaritmo natural en ambos lados de la ecuación:

$$\ln PIB_t = \alpha_1 + \alpha_2 \ln K_t + \alpha_3 L_t + \alpha_4 AE_t + \alpha_5 C_t + \alpha_6 E_t + u_t \quad (2)$$

donde  $u_t$  es el término de error de ruido blanco. Siguiendo a (Pérez *et al.*, 2020), en este modelo se incluyen todas las fuentes de energía, pero empíricamente se estiman de manera separada, es decir, en el

modelo 1 se incorporan las energías no renovables, en el modelo 2 se incorporan las energías renovables, los modelos del 3 al 6, incorporan la energía hidroeléctrica, geotérmica, eólica y solar, respectivamente, para distinguir los efectos reales de cada fuente de energía renovable y evitar problemas de multicolinealidad.

## 2.2. Datos

El cuadro 2 describe las variables. Debido a que se utiliza información mensual, las variables más frecuentes en el estudio, como el crecimiento del PIB, no se encuentran disponibles. Siguiendo a Carrasco y Ferreiro (2011) y a Ibarra (2022), se opta por utilizar *proxies*, el indicador global de actividad económica (IGAE) para el producto interno bruto y la tasa de desempleo por la fuerza laboral. Estas decisiones metodológicas se toman con el fin de desglosar mensualmente las variables energéticas y obtener una gran cantidad de datos para el período analizado, de igual forma cabe destacar que la construcción de la apertura económica se utiliza la forma más extendida que es  $ap = \frac{x + i}{y}$ , donde *ap* es la apertura económica, *x* son las exportaciones, *i* son las importaciones e *y* es el producto interno bruto.

CUADRO 2  
DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Variable	Descripción	Medida	Frecuencia	Fuente
N	Generación bruta de energía no renovable (termoeléctrica, dual, carboeléctrica y nucleoeeléctrica)	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
R	Generación bruta de energía renovable (hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica y geotérmica)	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
H	Generación bruta de energía hidroeléctrica	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
E	Generación bruta de energía eólica	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
S	Generación bruta de energía fotovoltaica	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
G	Generación bruta de energía geotérmica	Megavatios hora	Mensual	SIE-CFE
Y	Indicador Global de la Actividad Económica	Índice base 2013	Mensual	INEGI
K	Inversión Bruta Fija	Índice base 2013	Mensual	INEGI
L	Tasa de desempleo	Índice base 2013	Mensual	INEGI
X	Exportaciones	Millones de dólares	Mensual	INEGI
I	Importaciones	Millones de dólares	Mensual	INEGI
C	Emissiones de monóxido de carbono	Promedio de concentración de emisiones	Mensual	SCICA
A	Apertura económica	Índice	Mensual	Instrumento

Nota: SIE-CFE es el Sistema de Información Energética de la Comisión Federal de Electricidad, INEGI es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía y SCICA es el Sistema de Consulta de Indicadores de la Calidad del Aire.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA.

### 2.3. Hechos estilizados

El cuadro 3 muestra los estadísticos relevantes para entender el comportamiento de las variables durante el periodo de análisis, se observa que la producción promedio de energía no renovable es más de 5 veces superior a la producción de energía renovable, lo que demuestra que aún existe una alta dependencia de las fuentes menos limpias. Por otro lado, existen diferencias significativas en las energías renovables, con la energía hidroeléctrica representando el 79 % de la energía renovable, seguida de la geotérmica (15 %), la eólica (5 %) y la solar (poco menos del 1 %). También cabe señalar que, de entre las energías renovables, la geotermia y la eólica tienen un sesgo negativo, mostrando que la mayoría de los valores están por encima de la media, mientras que la distribución de la solar es leptocúrtica, mostrando una alta concentración de valores, cercanos a la media, y finalmente solo la eólica sigue una distribución normal. Estas diferencias indican que los resultados esperados no serán similares.

CUADRO 3  
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS VARIABLES EN NIVEL

Estadístico	Y	L	K	C	AE	N	R	H	G	E	S
Media	107.09	4.07%	102.93	0.58	4.47	180,665	31,555	25,068	4,708	1,768	9
Desviación estándar	5.39	0.65%	8.73	0.19	0.03	19,941	8,753	8,903	465	716	3
Sesgo	-0.91	0.25	-2.26	0.06	-0.09	0.05	0.18	0.11	-0.74	-0.22	1.30
Curtosis	3.85	1.62	8.98	2.05	1.93	2.21	2.3	2.17	2.98	2.39	9.14
Test de Jarque-Bera	12.17***	56.28***	44.31***	9.42***	14.45***	5.19*	4.10	6.09*	7.59**	3.01	30.79***
N	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96

Nota: \*\*\*, \*\* y \* indican que se rechaza la hipótesis nula de distribución normal 1, 5 y 10% de significancia, respectivamente.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA.

### 2.4. Pruebas de raíz unitaria

Si se trata de realizar la metodología de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a variables que no son estacionarias resultaría en regresiones espurias, para ello se revisa la estacionariedad de las variables utilizando la metodología que en primera instancia Dickey y Fuller

(1979) propusieron para determinar  $\hat{\tau} = (\hat{p} - 1)S_e^{-1} \left( \sum_{t=2}^n Y_{t-1}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ ,

donde  $S_e^2 = (n - 2)^{-1} \sum_{i=2}^n (Y_t - \hat{p}Y_{t-1})^2$ . Puesto que, para utilizar MCO, la series deben ser estacionarias, la hipótesis nula es  $p = 1$ , y para que esto sea posible se toma la primera diferencia, así se tiene que  $\Delta Y_t = \delta Y_{(t-1)} + \varepsilon_t$ , donde se tiene que  $\delta = p - 1$ . Para probar la estacionariedad se utilizará la prueba más general: la Dickey Fuller Aumentada (Said y Dickey, 1984) y para una mayor robustez de los resultados se aplicará la prueba de Phillips-Perron (Phillips y Perron, 1988).

## 2.5. Pruebas de Cointegración

Si las series son estacionarias y están relacionadas, entre ellas puede existir al menos una combinación lineal de largo plazo, a esto se le conoce como series cointegradas. Para ello en la mayoría de los casos se utiliza la metodología de Engle y Granger (1987). Esta prueba se basa en los residuales: si estos muestran una raíz unitaria, entonces las series son cointegradas. No obstante, cuando las series tienen diferente grado de estacionariedad  $I(0)$  o  $I(1)$ , se opta por la prueba de límites autorregresivos distribuidos (ARDL) de Pesaran *et al.* (1999) y Pesaran *et al.* (2001). Esta prueba tiene 3 ventajas con respecto a otras metodologías: primero, no se ve afectada por el orden de integración; segundo, es relativamente más eficiente en muestras pequeñas y; tercero, se obtienen estimaciones no sesgadas del modelo de largo plazo (Belloumi, 2013).

$$\Delta Y_t = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^m a_{21} \Delta Y_{t-1} + \sum_{i=0}^n a_{31} \Delta X_{t-i} + a_4 L Y_{t-1} + a_5 L X_{t-1} + \mu_{1t} \quad (3)$$

$$\Delta X_t = \beta_0 + \beta_1 t + \sum_{i=1}^m \beta_{21} \Delta X_{t-1} + \sum_{i=0}^n \beta_{31} \Delta Y_{t-i} + \beta_4 L X_{t-1} + \beta_5 L Y_{t-1} + \mu_{1t} \quad (4)$$

## 2.6. Modelo ARDL

Una vez realizadas las pruebas de estacionariedad y cointegración, se procede a realizar un vector autorregresivo de las variables en niveles si las variables son estacionarias y no cointegradas; mientras que, si son no estacionarias y no cointegradas, se procederá a realizar un vector autorregresivo a las series diferenciadas. Un vector autorregresivo en su forma reducida es una expresión de función lineal de cada variable que es explicada por sus propios valores del pasado más todos los valores pasados de

las demás variables considerando que existe un término error no correlacionado (Stock y Watson, 2001). Sin embargo, si las variables no son estacionarias, o tienen un orden mixto de integración los estimadores que se generan son sesgados, para esta situación se utiliza el modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL), debido a que agrega un número suficiente de rezagos para capturar el proceso de generación de datos en un marco que va de lo general a lo específico (Shrestha y Bhatta, 2018).

$$y_t = \alpha + \beta x_t + \delta z_t + e_t \quad (5)$$

### 2.7. Vector corrector de errores

Si las series son cointegradas y no estacionarias, existe un vector de corrección de errores (VEC) del modelo de largo plazo que permite identificar las relaciones tanto de corto como largo plazo (Granger, 1988). A partir del modelo ARDL con una simple transformación lineal, se puede obtener el VEC sin perder información y evitar problemas de relaciones espurias resultantes de series de tiempo no estacionarias (Shrestha y Bhatta, 2018). La evidencia de cointegración se puede deber a que existe una relación teórica estable entre las variables (Menegaki, 2019). Para ello se utiliza la prueba de Wald para contrastar la hipótesis nula de no cointegración cuando hay más de un coeficiente de corto plazo de la misma variable (Tursoy y Faisal 2018).

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta x_{t-i} + \sum_{i=1}^p \varepsilon_i \Delta z_{t-i} + \lambda_1 y_{t-1} + \lambda_2 x_{t-1} + \lambda_3 z_{t-1} + u_t \quad (6)$$

La primera parte de la ecuación  $\beta$ ,  $\delta$  y  $\varepsilon$  representan los efectos dinámicos de corto plazo del modelo. La segunda parte con las  $\lambda$  representan las relaciones de largo plazo, siendo el corrector del error el factor sub-tercero.

### 2.8. Pruebas de causalidad

Este análisis, soluciona uno de los grandes problemas econométricos que aunque exista una relación no se puede conocer su causalidad, sin embargo, bajo la suposición de Granger, se puede identificar si X causa



a Y, debido a que señales en X del pasado puede ayudar a la predicción de Y, este puede ser utilizada con las variables en diferencias si no se encuentra relación de cointegración, siendo una relación causal de corto plazo (Amblard y Michel, 2013, Kirchgässner y Wolters, 2007, Menegaki, 2019 y Shrestha y Bhatta, 2018). Probar la causalidad de Granger utilizando estadísticos F cuando una o ambas series de tiempo no son estacionarias puede conducir a una causalidad falsa, para estos casos la metodología de Toda y Yamamoto (1995) puede generar estadísticos no sesgados e identificar relación de largo plazo (He y Maekawa, 2001 y Menegaki, 2019). Otra de las maneras que se tiene para identificar la causalidad entre las variables, si se identifica una relación de integración de orden I(1), el vector corrector de errores (VEC) muestra estos efectos causales, para ello el coeficiente de VEC debe ser negativo para asegurar la convergencia del sistema desde el corto hacia el largo plazo (Menegaki, 2019). Para evitar problemas de variables omitidas, que genera pruebas de causalidad sesgadas, se optará por la utilización de modelos multivariados (Lutkepohl, 1982).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Pruebas de raíz unitaria

Las series ajustadas estacionalmente se calculan con X13ARIMA-SEATS (INEGI, 2018) para estacionariedad y pruebas adicionales. Se realizan las pruebas DFA (Dickey-Fuller Augmentation) y PP (Phillips-Perron), siendo la hipótesis nula que la serie es no estacionaria. Los resultados se muestran en el cuadro 4, en donde solo se puede rechazar a un nivel de significancia de 5% para las variables NR, R, H, E y S en niveles. Después de aplicar las primeras diferencias, todas las variables son estacionarias a un nivel de significancia de 1% en ambas pruebas.

CUADRO 4  
RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA

Variable en nivel	Parámetros determinísticos	Prueba DFA	Prueba PP
Y	CT	-2.612	-2.829
K	CT	-2.518	-2.493
L	CT	-2.190	-1.855
C	CT	-2.919	-2.404

CUADRO 4 (CONTINUACIÓN)

Variable en nivel	Parámetros determinísticos	Prueba DFA	Prueba PP
<i>AE</i>	CT	-2.299	-1.540
<i>N</i>	CT	-3.022	-3.804**
<i>R</i>	CT	-8.001***	-8.135***
<i>G</i>	CT	-3.005	-2.708
<i>H</i>	CT	-3.710**	-3.463**
<i>E</i>	CT	-8.524***	-8.581***
<i>S</i>	CT	-11.116***	-11.018***
Primeras diferencias			
$\Delta Y$	C	-7.427***	-7.236***
$\Delta K$	C	-9.335***	-9.365***
$\Delta L$	C	-15.617***	-15.095***
$\Delta C$	C	-16.055***	-20.389***
$\Delta AE$	C	-20.020***	-20.745***
$\Delta N$	C	-9.198***	-9.347***
$\Delta R$	C	-17.108***	-22.775***
$\Delta G$	C	-13.603***	-13.752***
$\Delta H$	C	-10.432***	-10.873***
$\Delta E$	C	-15.690***	-21.261***
$\Delta S$	C	-18.753***	-25.336***

Nota: \*\*\* y \*\* indican que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria a 1 y 5% de significancia, respectivamente. C indica constante y CT constante y tendencia. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA. Se utilizó el paquete de econometría STATA 15.0 para realizar las pruebas.

### 3.2. Pruebas de cointegración

Para la elección de los rezagos se utiliza el criterio de información Akaike, además de utilizar las pruebas, incluyendo intercepto e intercepto y tendencia si esta fuese significativa para determinar el grado de cointegración con la prueba de límites del modelo ARDL (autorregresivo con rezagos distribuidos) que proponen Pesaran *et al.* (2001). La hipótesis nula es no cointegración donde  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$ . En la prueba si el valor de F es superior al límite superior, se rechaza la hipótesis nula, mostrando que existe una relación de cointegración de largo plazo. En los resultados del cuadro 5a, se observa que solo para la energía geotérmica se muestra una relación estable de largo plazo. Estos resultados son

similares a los encontrados en (Bhattacharya *et al.*, 2016. Existen efectos de largo plazo para la energía geotérmica, efectos individuales que no habían sido analizados. Se realizan pruebas de normalidad (Jarque-Bera, JB), autocorrelación, heteroscedasticidad y la prueba de especificación de Ramsey, donde se observa que los modelos ARDL planteados son estables para un nivel de significancia del 90%, exceptuando para el caso de la energía solar, donde existe autocorrelación serial (cuadro 5b).

CUADRO 5A  
ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN ARDL

Modelo ADRL	Estadístico F	VC 1%		VC 5%		VC 10%	
		I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
F (Y K, L, C, AE, NR)	1.102	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35
F (Y K, L, C, AE, R)	1.843	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35
F (Y K, L, C, AE, H)	1.858	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35
F (Y K, L, C, AE, G)	3.967**	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35
F (Y K, L, C, AE, E)	2.338	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35
F (Y K, L, C, AE, S)	2.356	3.41	4.68	2.62	3.79	2.26	3.35

Nota: \*\* denota rechazo de la hipótesis nula al nivel del 5%. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA. Se utilizó el paquete de econometría STATA 15.0 para realizar las pruebas.

CUADRO 5B  
PRUEBA DE DIAGNÓSTICO ARDL

Pruebas	NR	R	H	G	E	S
JB Normal	1.81(0.40)	4.20(0.12)	1.17(0.55)	2.80(0.24)	0.03(0.98)	6.19(0.04)
Prueba LM	0.705(0.40)	0.018(0.89)	4.164(0.04)	1.127(0.28)	0.316(0.57)	16.797(0.00)
Prueba Breusch-Pagan	0.16(0.68)	0.35(0.55)	0.06(0.80)	0.01(0.94)	0.02(0.88)	0.36(0.54)
Prueba Ramsey	1.99(0.22)	5.71(0.02)	1.05(0.44)	1.49(0.28)	1.00(0.45)	2.42(0.18)

Nota: Los valores denotan el estadístico de cada prueba y su respectivo valor *prob.* está en paréntesis.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA. Se utilizó el paquete de econometría STATA 15.0 para realizar las pruebas.

### 3.3. Modelo autorregresivo de rezagos distribuidos con vector corrector de errores

En el cuadro 6 se muestran los resultados de causalidad a corto y largo plazo para el modelo que incluye energía geotérmica, que es el único que muestra efectos de largo plazo. En el largo plazo, existe evidencia de causalidad de las variables K, C, AE y G a un nivel de significancia de 1%, lo que implica que una reducción de la producción de energía

geotérmica y en el capital o un incremento de la contaminación y la apertura económica afectaría negativamente en el crecimiento del producto. También existe una relación de causalidad de largo plazo al 1% de significancia cuando se toma como variable dependiente a K y G, en cambio para C la relación de causalidad de largo plazo es un nivel de significancia del 5%, pero con signo positivo por lo cual no habría convergencia. En el corto plazo, destaca la relación causal a corto plazo bidireccional entre C y G al 1% de significancia, la relación causal a corto plazo bidireccional entre Y y G al 1% de significancia, así mismo el signo positivo de G en el caso de la variable dependiente Y, muestra que en el corto plazo una reducción de la producción geotérmica afectaría negativamente en el crecimiento del producto. En la parte inferior del cuadro 6 se presentan los estadísticos de las pruebas diagnósticas, que muestran que los modelos cumplen con los supuestos de normalidad y buena especificación, la inexistencia de heterocedasticidad y autocorrelación.

CUADRO 6  
PRUEBA DE CAUSALIDAD DE GRANGER A CORTO Y LARGO PLAZO-GEOTÉRMICA

Variables explicativas	$\Delta Y$	$\Delta K$	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta AE$	$\Delta G$
$\Delta Y$	-	1.6984***	10.2263	-12.9502***	-4.14352	3.9999***
$\Delta K$	0.5391***	-	-11.8465	7.2466***	2.8251	-2.6353***
$\Delta L$	-0.0083	0.0031	-	-0.1832	-0.0399	-0.0120)
$\Delta C$	-0.0734***	0.1264***	1.6680	-	-0.4155	0.2941***
$\Delta AE$	-0.1270***	0.1089	6.545	-1.3914	-	-1.4881*
$\Delta G$	0.2125***	-0.3226***	-7.6341	3.3467***	1.3596	-
TCE-1	-3.1183***	-4.1218***	-0.6003	1.6675**	0.1411	-1.2915***
Pruebas de diag.						
JB Normal	2.8	4.22	1.11	0.41	2.03	5.07*
Prueba LM	1.127	0.027	1.454	0.617	4.271**	2.245
Prueba Breusch-Pagan	0.00	0.08	0.05	0.33	0.06	0.17
Prueba Ramsey	1.249	0.8	0.54	0.87	1.68	0.88

Nota: \*\*\*, \*\* y \* denotan rechazo de la hipótesis nula al nivel del 1, 5 y 10%. TCE-1 representa el coeficiente del término de corrección de error rezagado un periodo. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA. Se utilizó el paquete de econometría STATA 15.0 para realizar las pruebas.

Para verificar la robustez de los resultados, también se aplicó la metodología alternativa de Toda y Yamamoto (1995). Los resultados del cuadro 7, muestran que existe una causalidad fuerte de largo plazo de la producción de energía geotérmica al crecimiento económico. No obstante, esta relación no se puede confirmar que sea bidireccional. Así mismo tanto la contaminación como el capital tienen fuerte poder de explicación causal sobre el crecimiento económico. Por su parte, solo la tasa de desempleo tiene poder de explicación causal con un nivel de significancia del 5% en la producción de energía geotérmica.

CUADRO 7  
PRUEBAS DE CAUSALIDAD TODA Y YAMAMOTO

Hipótesis nula	Estadístico F	Hipótesis nula	Estadístico F
G no causa a Y	3.49*	G no causa a C	0.75
K no causa a Y	8.47***	Y no causa a C	0.62
L no causa a Y	3.11*	K no causa a C	0.16
AE no causa a Y	0.23	L no causa a C	0.00
C no causa a Y	3.98**	AE no causa a C	2.85*
G no causa a K	1.35	G no causa a AE	3.63*
Y no causa a K	1.87	Y no causa a AE	5.12**
L no causa a K	1.95	K no causa a AE	7.24***
AE no causa a K	0.02	L no causa a AE	0.15
C no causa a K	0.83	C no causa a AE	6.13**
G no causa a L	0.01	Y no causa a G	0.03
Y no causa a L	0.21	K no causa a G	0.11
K no causa a L	0.00	L no causa a G	3.83*
AE no causa a L	0.72	C no causa a G	1.68
C no causa a L	0.00	AE no causa a G	0.7

Nota: \*\*\*, \*\* y \* denotan rechazo de la hipótesis nula al nivel del 1, 5 y 10%. Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

Fuente: SIE-CFE, INEGI y SCICA. Se utilizó el paquete de econometría STATA 15.0 para realizar las pruebas.

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta investigación se cuantifica empíricamente el efecto entre la producción energía (renovable y no renovable) y el crecimiento económico en México en el periodo alrededor de la reforma energética de 2014, para ello se utiliza un modelo de cointegración ARDL y pruebas de causalidad. Se encuentra que la producción de energía en sus diferentes fuentes es similar a lo identificado en Gómez *et al.* (2015) y en Odugbesan y Rjoub (2020).

El principal objetivo de la reforma energética fue incrementar la producción de energía renovable, buscando disminuir la dependencia de la producción de energía más contaminante y respetar los tratados internacionales del cuidado del medio ambiente. Cuando se analizan los efectos entre la producción de energía renovable y no renovable no se identifican efectos de largo plazo similares a los resultados de Bhattacharya *et al.* (2016).

Sin embargo, cuando se analizan los efectos individuales de cada fuente de energía renovable se identifica que las fuentes de generación que son altamente dependientes de temporalidad y características no controlables, como lo son las horas de sol (fotovoltaica), la fuerza del viento (eólica) o la fuerza de corrientes de agua (hidroeléctrica), no han mostrado tener impactos reales sobre el crecimiento económico. Estos resultados concuerdan con lo identificado por Pérez *et al.* (2020), donde se muestra que, para países de la península ibérica, debido a diferencias climáticas algunos países se ven favorecidos en mayor medida por el consumo de energía solar o energía eólica.

En este sentido, para el caso mexicano en el periodo analizado, la producción de energía geotérmica es la única que muestra efectos causales de largo plazo en el crecimiento económico. Esto bien se puede deber a que México es el cuarto productor a nivel mundial de energía geotérmica, con sus 5 centrales de producción propiedad de la Comisión Federal de Electricidad en Baja California con la mayor capacidad instalada, seguida de Michoacán, Puebla, Baja California Sur y Jalisco (Alemán *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

Este estudio se basa en la pregunta de si el impacto de todas las fuentes de energía en el crecimiento económico debe considerarse igual para el caso de México de 2013 a 2020. Se utilizan las siguientes variables de control: la fuerza laboral, el capital físico, la contaminación y la apertura economía. Se analizan los impactos individuales de la generación de energía no renovable y renovable (hidráulica, solar, eólica y geotérmica). Las relaciones causales a largo plazo se midieron utilizando un modelo autorregresivo de rezago distribuido con vectores de corrección de errores.

Para el análisis empírico, lo primero es que cada serie de energía se debe desestacionalizar para evitar sesgos en las pruebas, ya que casi todas las fuentes de energía muestran una variación estacional significativa, excepto las no renovables. Lo siguiente es realizar una prueba de raíz unitaria para determinar el nivel de estacionariedad, encontrando que las variables tienen diferentes niveles de estacionariedad, para solucionar esto se utiliza como la prueba de cointegración al límite ARDL propuesto por Pesaran. Encontrando que solo para el caso de la producción de energía geotérmica existe una relación de largo plazo significativa.

El modelo ARDL con vector corrector de errores mostró que las variables de control capital, fuerza laboral, contaminación y apertura económica, ayudan en la estimación de efectos de largo plazo, con lo cual se identificó que, para el caso específico de la producción de energía geotérmica, estos efectos son positivos tanto en el corto como en el largo plazo. Así mismo, las pruebas de causalidad de largo plazo utilizando la metodología de ARDL-VEC se identificó la hipótesis de retroalimentación. Por otro lado, utilizando la metodología de Toda y Yamamoto, la hipótesis que mejor explica el comportamiento entre las variables es la hipótesis de crecimiento.

Estos resultados pueden ser útiles para los tomadores de decisiones que quieran impulsar el crecimiento económico: pueden hacerlo con el uso de mayor cantidad de energías renovables que impactan directamente al crecimiento económico, para el caso mexicano un mayor impulso a la producción de energía geotérmica se identificó como la única en mostrar efectos causales de largo plazo.

La principal contribución de esta investigación reside en que al medir los efectos de la producción de energía deberían buscarse maneras para evaluar los efectos desagregados que no generen sesgos de interpretación. Una limitación de esta investigación es el periodo de análisis (2013-2020) que se usó para obtener información desagregada. Las estimaciones pueden cambiar con la incorporación de una muestra temporal más grande.

Como futuras líneas de investigación se puede analizar cómo han sido los efectos a través del impulso de la generación de energía limpia a través de las metas planteadas por diferentes organismos públicos. También se recomienda analizar si los efectos diferenciados se pueden explicar por las diferencias en la reducción de la contaminación o de los incrementos de la productividad.

## REFERENCIAS

- Abdollahi, Hooman (2020). Investigating Energy Use, Environment Pollution, and Economic Growth in Developing Countries. *Environmental and Climate Technologies*, 24(1), 275-293. <https://tinyurl.com/2ueyyxad>
- Abid, Mehdi (2020). The long-run and short-run effects of oil price on energy consumption in Tunisia: Evidence from structural breaks analysis. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 15(4), 252-277. <https://tinyurl.com/mryrk6dd>
- Abid, Nabila., Wu, Jianzu, Ahmad, Fayyaz, Draz, Muhammad, Chandio, Abbas y Xu, Hui (2020). Incorporating Environmental Pollution and Human Development in the Energy-Growth Nexus: A Novel Long Run Investigation for Pakistan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(14), 51-54. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/14/5154>
- Acemoglu, Daron y Robinson, James A. (2012). *Por qué fracasan los países. Los orígenes del poder, la prosperidad y la pobreza*. Barcelona: Deusto.
- Adebayo, Tomiwa y Rjoub, Husam (2021). Assessment of the role of trade and renewable energy consumption on consumption-based carbon emissions: evidence from the MINT economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 58271-58283. <https://tinyurl.com/547m2udf>
- Acheampong, Alex, Boateng, Elliot, Amponsah, Mary y Dzator, Janet (2021) Revisiting the economic growth-energy consumption nexus: Does globalization matter?. *Energy Economics*, 102(1), 1-18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988321003583>
- Adebayo, Tomiwa, Awosusi, Ayovamiji y Adeshola, Ibrahim (2020). Determinants of CO2 Emissions in Emerging Markets: An Empirical Evidence from MINT Economies. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(1), 411-422. <https://tinyurl.com/4hak7xs3>
- Alemán, Gibran, Casiano, Victor, Cárdenas, Diana, Díaz, Rocio, Scarlat, Nicolae, Mahlknecht, Jurgen, Dallemand, Jean y Parra, Roberto (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32(1), 140-153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000148>
- Alsaedi, Yasir, Anand, Tularam y Wong, Victor (2020). Impact of Solar and Wind Prices on the Integrated Global Electricity Spot and Options Markets: A Time Series Analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(2), 337-353. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/8939>
- Alvarado, Rafael, Ponce, Pablo, Alvarado, Raquel, Ponce, Katerine, Huachizaca, Viviana y Toledo, Elisa (2019). Sustainable and non-sustainable energy and output in Latin America: A cointegration and causality approach with panel data. *Energy Strategy Reviews*, 26(1), 1-10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300562>



- Amblard, Pierre y Michel, Olivier (2013) The Relation between Granger Causality and Directed Information Theory: A Review. *Entropy*, 15(1), 113-143. <https://www.mdpi.com/1099-4300/15/1/113>
- Arrow, Kenneth (1962) The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155–173. <https://www.jstor.org/stable/2295952>
- Ayres, Robert y Kneese, Allen (1969). Production, Consumption & Externalities. *American Economic Review*, 59(1), 282-296. <https://www.jstor.org/stable/pdf/1808958.pdf>
- Azam, Anam, Rafiq, Muhammad, Shafique, Muhammad, Ateeq, Muhammad y Yuan, Jiahai (2021). Investigating the impact of renewable electricity consumption on sustainable economic development: a panel ARDL approach. *International Journal of Green Energy*, 18(11), 1185-1192. <https://tinyurl.com/2p9eyp8f>
- Balsalobre, Daniel., Ibañez, Luzon., Usman, Muhammad y Shahbaz, Muhammad. (2021). The environmental Kuznets curve, base on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. *Renewable Energy*, 185(1), 1441-1455. <https://tinyurl.com/49jvd9ks>
- Bekun, Festus, Gyamfi, Bridght, Onifade, Stephen y Agboola, Mary (2021). Beyond the environmental Kuznets Curve in E7 economies: Accounting for the combined impacts of institutional quality and renewables. *Journal of Cleaner Production*, 314(1), 1-10. <https://tinyurl.com/bdhvknxa>
- Belloumi, Mounir (2013). The relationship between trade, FDI and economic growth in Tunisia: An application of the autoregressive distributed lag model. *Economic Systems*, 38(1), 269–287. <https://tinyurl.com/feu5fhjx>
- Ben, Mehdi y Ben, Slim (2015). Output, renewable and non-renewable energy consumption and international trade: evidence from a panel of 69 countries. *Renewable Energy*, 83(1), 799–808. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811500350X>
- Ben, Mehdi, Ben, Slim y Ozturk, Ilhan (2016). Testing environmental Kuznets curve hypothesis: the role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. *Ecological Indicators*, 60(1), 824–831. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X15004525>
- Bhattacharya, Mita, Reddy, Sudharshan, Ozturk, Ilhan y Bhattacharya, Sankar. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162(1), 733-741. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915013318>
- Brock, William y Taylor, Scott (2004). The Green Solow model. *Journal Economic Growth*, 15(1), 127–153. <https://www.nber.org/papers/w10557>
- Busu, Mihail (2020). Analyzing the Impact of the Renewable Energy Sources on Economic Growth at the EU Level Using an ARDL Model. *Mathematics*, 8(8), 1367. <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/8/1367>

- Carrasco, Carlos y Ferreiro, Jesus (2011). Inflation Targeting and Economic Performance: The Case of Mexico. *Panaeconomicus*, 58(5), 675-692. <https://ideas.repec.org/a/voj/journal/v58y2011i5p675-692.html>
- Çelik, Orkun (2021). Assessment of the relationship between renewable energy and employment of the United States of America: Empirical evidence from spectral Granger causality. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13047-13054. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33484454/>
- Consejo de Energía Mundial (2016). *World Energy Scenarios 2016*. Reino Unido <https://tinyurl.com/ywhepdnn>
- Dickey, David y Fuller, Wayne (1979). Distribution of the Estimators for Autotregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://www.jstor.org/stable/2286348>
- El Moummy, Chama, Salmi, Yahya y Baddih, Hindou (2021). The role of renewable energy sector in reducing unemployment: The Moroccan case. *E3S Web of Conferences*, 234, 1-6. <https://tinyurl.com/2s3st6vy>
- Etokakpan, Mfonobong, Solarin, Sakiru, Yorucu, Vedutu, Bekun, Festus y Sarkodie, S. (2020) Modeling natural gas consumption, capital formation, globalization, CO2 emissions and economic growth nexus in Malaysia: Fresh evidence from combined cointegration and causality analysis. *Energy Strategy Reviews*, 31(1), 1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20300791>
- Engle, Robert y Granger, Clive (1987). Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. [www.jstor.org/stable/1913236](http://www.jstor.org/stable/1913236)
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1977). The steady state and ecological salvation: A thermodynamic analysis. *BioScience*, 27(4), 266-270. <https://www.jstor.org/stable/1297702>
- Gómez, Mario, Ciarreta, Aitor y Zarraga, Ainhoa (2015). Linear and Nonlinear Causality between energy consumption and economic growth: the case of Mexico 1965-2014. *Energies*, 11(4), 748. <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/4/784>
- Gómez, Mario, Ciarreta, Aitor y Zarraga, Ainhoa (2018). Consumo de energía, crecimiento económico y comercio: Un análisis de causalidad para México. *EconoQuantum*, 15(1), 53-72. <https://tinyurl.com/5a837xdk>
- Gonçalves, Solange, Rodriguez, Thiago y Chagas, André (2020). The impact of wind power on the Brazilian labor market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128 (1), 1-38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120301805>
- Granger, Clive (1988). Some Recent Development in a Concept of Causality. *Journal of Econometrics*, 39 (1-2), 199-211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304407688900450>

- Gutiérrez, Roberto (2014). Reformas estructurales de México en el sexenio de Felipe Calderón: la energética. *Economía UNAM*, 11(32), 32-58. <https://tinyurl.com/34zp8wcd>
- Hdom, Helde y Fuinhas, Jose (2020). Energy production and trade openness: Assessing economic growth, CO2 emissions and the applicability of the cointegration analysis. *Energy Strategy Reviews*, 30(1), 100488. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20300419>
- He, Zonglu y Maekawa, Koichi (2001). On spurious Granger causality. *Economics Letters*. *Elsevier*, 73(3), 307-313. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165176501004980>
- Helpman, Elhanan y Krugman, Paul (1985). *Market Structure and Foreign Trade. Increasing Returns, Imperfect Competition, and the International Economy*. MA: MIT Press, Cambridge.
- Hicks, Jhon (1932) *The Theory of Wages*. Macmillan, London.
- Ibarra, Raul (2022). *The Yield Spread as a Predictor of Economic Activity in Mexico: The Role of the Term Premium*. Working Paper Banco de México. [https://economia.lacea.org/Forthcoming%20papers/ibarra\\_yield\\_spread.pdf](https://economia.lacea.org/Forthcoming%20papers/ibarra_yield_spread.pdf)
- Ike, George, Usman, Ojonugwa, Adewale, Andrew y Sarkodie, Samuel (2020). Environmental quality effects of income, energy prices and trade: The role of renewable energy consumption in G-7 countries. *Science of the Total Environment*, 721(1), 1-10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720313255>
- INEGI. (2018). *Metodología del ajuste estacional 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <https://tinyurl.com/hfhajnpa>
- INEGI. (2022). *Banco de Información Económica (BIE)*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#bodydataExplorer>
- IRENA. (2015). *Renewable Energy Prospects: Mexico, REmap 2030 analysis*. IRENA, Abu Dhabi. [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap)
- IRENA (2020). *What are the latest trends in renewable energy?*. IRENA <https://tinyurl.com/bdheh8np>
- Islas, Jorge, Manzini, Fabio y Martínez, Manuel (2001). Reduction of greenhouse gases using renewable energies in Mexico. *International Journal of Hydrogen*, 26(2), 145-149. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319900000422>
- Kirchgässner, Gebhard y Wolters, Jürgen (2007). *Introduction to Modern Time Series Analysis*. Springer.
- Kraft, Jhon y Kraft, Arthur (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 3(2), 401-403. <https://www.jstor.org/stable/24806805>
- Latief, Rashid, Kong, Yushend, Peng, Yuanyuan y Javeed, Sohail (2020). Conceptualizing Pathways of Sustainable Development in the Union for the Mediterranean Countries with an Empirical Intersection of Energy

- Consumption and Economic Growth. *International Journal Environmental Research Public Health*, 17(15), 5614. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/15/5614>
- Le, Hoang (2020). The energy-growth nexus revisited: the role of financial development, institutions, government expenditure and trade openness. *Helyon*, 6(7), e04369. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020312135>
- Le, Hoang y Bach, Dang (2020). The energy consumption structure and African EMDE's sustainable development. *Helyon*, 6(4), e03822. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020306678>
- Le, Hoang y Sarkodie, Samuel (2020). Dynamic linkage between renewable and conventional energy use, environmental quality and economic growth: Evidence from Emerging Market and Developing Economies. *Energy Reports*, 6 (1), 965-973. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719307802>
- Loaiza, Veronica (2018). Crecimiento económico y el uso de energía sustentable y no sustentable: un enfoque del caso ecuatoriano usando técnicas de cointegración. *Revista Killkana Scoiales*, 2 (3), 75-86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6584510>
- Lutkepohl, Helmut (1982). Non-causality due to omitted variables. *J. Econometrics*, 19(2-3), 367-378. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304407682900112>
- Maji, Ibrahim, Sulaiman, Chindo y Rahim, Abdul (2019). Renewable energy consumption and economic growth nexus: Afresh evidence from West Africa. *Energy Reports*, 5(1), 384-392.
- Marinaş, Marius, Dinu, Marin, Socol, Aura y Socol, Cristian (2018). Renewable energy consumption and economic growth. Causality relationship in Central and Eastern European countries. *PLoS ONE*, 13(10), e0202951. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202951>
- Mele, Marco (2019). Renewable energy consumption: The effects on economic growth in Mexico. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 269-273. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/7460>
- Menegaki, Angeliki (2019). The ARDL Method in the Energy-Growth Nexus Field; Best Implementation Strategies. *Economies*, 7(4), 1-16. <https://www.mdpi.com/2227-7099/7/4/105>
- Miranda, Raul, Hausler, Robert, Lopez, Rabindranath, Glaus, Mathias y Pasillas-Diaz, Jose (2020). Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis in North America's Free Trade Agreement (NAFTA) Countries. *Energies*, 13(12), 1-13.
- Nguyen, Ha y Ngoc, Bui (2020). Energy Consumption – Economic Growth Nexus in Vietnam: An ARDL Approach with a Structural Break. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(1), 101-110. <http://koreascience.or.kr/article/JAKO202014862061742.page>

- Bryner, Nicholas (2016). People of the Sun: Leveraging Electricity Reform to Promote Renewable Energy and Climate Change Mitigation in Mexico. *Natural Resources Journal*, 56(2), 329-350. <https://digitalrepository.unm.edu/nrj/vol56/iss2/7/>
- Nordhaus, William (1973). The Allocation of Energy Resources. *Brookings Papers on Economic Activity*, 4(3), 529-576. <https://www.jstor.org/stable/pdf/2534202.pdf>
- Nordhaus, William (1977). Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem. *The American Economic Review*, 67(1), 341-346. <https://www.jstor.org/stable/1815926>
- Odugbesan, Jamiu y Rjoub, Husam (2020). Relationship Among Economic Growth, Energy Consumption, CO2 Emission, and Urbanization: Evidence From MINT Countries. *SAGE open*, 1(15), 1-15. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2158244020914648>
- Ozcan, Burcu, Tzeremes, Panayiotis y Tzeremes, Nickolaos (2020). Energy consumption, economic growth and environmental degradation in OECD countries. *Economic Modelling*, 80, 203-2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264999318313245>
- Parab, Narayan, Naik, Ramashanti y Reddy, Y. (2020). Renewable Energy, Roreign Direct Investment and Sustainable Development: An Empirical Evidence. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 479-484.
- Payne, James (2010). Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth. *Journal of Economic Studies*, 37, 37-53. <https://tinyurl.com/asheuw9a>
- Pérez, Ismael, García, Agustín y Maldonado, Juan (2020). Energy Transition Towards a Greener and More Competitive Economy: The Iberian Case. *Sustainability*, 12(8), 33-43. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3343>
- Pesaran, Hashem, Shin, Yongcheol y Smith, Ron (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634. <https://ideas.repec.org/p/edn/essedps/16.html>
- Pesaran, Hashem, Shin, Yongcheol y Smith Ron (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326. <https://ideas.repec.org/a/jae/japmet/v16y-2001i3p289-326.html>
- Phillips, Peter y Perron, Pierre (1988). Testing for a unit roots in a time series regression. *Biometrika*. 75(2), 335-346. <https://www.jstor.org/stable/2336182>
- Pilatowska, Mariola, Geise, Andrzej y Włodarczyk, Aneta (2020). The Effect of Renewable and Nuclear Energy Consumption on Decoupling Economic Growth from CO2. Emissions in Spain. *Energies*, 13(9), 21-24. <https://tinyurl.com/yee2yems>

- Qamruzzaman, Md. y Jianguo Wei. (2020). The asymmetric relationship between financial development, trade openness, foreign capital flows, and renewable energy consumption: Fresh evidence from panel NARDL investigation. *Renewable Energy*, 159, 827-842. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v159y2020icp827-842.html>
- Rafindadi, Abdulkadir y Ozturk, Ilhan (2016). Effects of financial development, economic growth and trade on electricity consumption: Evidence from post-Fukushima Japan. *Renewable and Sustainable Energy*, 54, 1073-1084. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115011028>
- Raza, Muhammad, Ahmed, Ahmed, Alshebami, Ali y Polyakova, Aleksandra (2020). Renewable energy use and its effects on environment and economic growth: Evidence from Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 50-57. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/10219>
- Razmi, Seyedeh, Ramezani, Bajgiran, Behname, Mehdi, Salari, Taghi y Razmi, Seyed (2020). The relationship of renewable energy consumption to stock market development and economic growth in Iran. *Renewable Energy*, 145, 2019-2024. <https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1075936.pdf>
- Romer, Paul (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, 71-102. <https://www.jstor.org/stable/2937632>
- Said, Said y Dickey, David (1984). Testing for Unit Roots in Autoregressive-Moving Average Models of Unknown Order. *Biometrika*, 71(3), 599-607. <https://www.ssc.wisc.edu/~bhansen/718/SaidDickey1984.pdf>
- SCICA. (2022) *Monitoreo automatico de emisiones de CO*. <http://scica.inecc.gob.mx/exec/addl>
- SEGOB. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo. 2013-2018*. Programa especial para el aprovechamiento de energías renovables. <https://tinyurl.com/dvjrs7y4>
- SENER. (2020). *Programa Sectorial de Energía 2020-2024*. Secretaría de Energía. <https://tinyurl.com/4974cmxf>
- Shahbaz, Muhammad, Nasreen, Samia, Ling, Chong y Sbia, Rashid (2014). Causality between Trade Openness and Energy Consumption: What Causes What in High, Middle and Low Income Countries. *The Pakistan Development Review*, 53(4), 423-458. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421514001761>
- Shrestha, Min, y Bhatta, Guna (2018). Selecting appropriate methodological framework for time series data analysis. *The Journal of Finance and Data Science*, 4(2), 71-89. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405918817300405>
- SIE (2022) *Generación bruta de CFE más PIEs por tecnología*. Sistema de información energética. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?accion=cuadro&cvequa=IIIA1C05>

- Singh, Nadia, Nyuur, Richard y Richmond, Ben (2019). The work that goes into renewable energy. *Washington: Renewable Energy Policy Project (REPP)*. [https://globalurban.org/The\\_Work\\_that\\_Goes\\_into\\_Renewable\\_Energy.pdf](https://globalurban.org/The_Work_that_Goes_into_Renewable_Energy.pdf)
- Solow, Robert (1956). Contribution to the Theory of Economic Growth, *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <http://piketty.pse.ens.fr/files/Solow1956.pdf>
- Solow, Robert (1974). The Economics of Resources or the Resources of Economics. *The American Economic Review*, 64(2), 1–14. <https://www.uvm.edu/~jfarley/237/solow%20e%20of%20r.pdf>
- Stock, James y Watson, Mark (2001). Vector Autoregressions. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 101-115. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.15.4.101>
- Sulub Yasin, Hamid, Zarinah y Nazri Mior (2020). Renewable energy supply and economic growth in malaysia: An application of bounds testing and causality analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(3), 255-264. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/8980>
- Toda, H. y Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66 (1-2), 225–250. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304407694016168>
- Tong, Teng, Ortiz, Jaime, Xu, Chuanhua y Li, Fangjhy (2020). Economic growth, energy consumption, and carbon dioxide emissions in the E7 countries: a bootstrap ARDL bound test. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-17. <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-020-00253-6>
- Tsaurai, Kunofiwa y Ngcobo, Lindiwe (2020). Renewable Energy Consumption, Education and Economic Growth in Brazil, Russia, India, China, South Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(2), 26-34. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/8497>
- Tursoy, Turgut y Faisal, Faisal (2018). The impact of gold and crude oil prices on stock market in Turkey: Empirical evidences from ARDL bounds test and combined cointegration. *Resources Policy*, 55(1), 49–54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420717300727>
- Usman, Muhammad, Kousar, Rakhshanda, Rizwan, Muhammad y Sohail, Muhammad (2020). An empirical nexus between economic growth, energy utilization, trade policy, and ecological footprint: a continent-wise comparison in upper-middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 38995–39018. <https://tinyurl.com/9hfw4ka4>
- Yang, Minyoung y Kim, Jinsoo (2020). Revisiting the Relation between Renewable Electricity and Economic Growth: A Renewable–Growth Hypothesis. *Sustainability*, 12(8), 3121. <https://tinyurl.com/57heyhz8>