

Impacto del desarrollo regional y la transición energética en la calidad del aire: Evidencia para Jalisco, México

The Impact of Regional Development and the Energy Transition on Air Quality: Evidence from Jalisco, Mexico

Juan José Esparza López

Correspondencia:
juanjose.esparza@academicos.
udg.mx
Universidad de Guadalajara
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6478-1120>

DOI: <https://doi.org/10.63042/8f9mbe98>

Fecha de recepción:
05-Agosto-2025
Fecha de aceptación:
03-Febrero-2026

Resumen

En este artículo se examina la relación entre el crecimiento económico, el consumo energético y la contaminación atmosférica en Jalisco, México, durante el periodo 2003-2022. Se aplicaron modelos econométricos para analizar tanto efectos inmediatos como a largo plazo, con el fin de evaluar la influencia del desarrollo regional y el impacto del consumo de energía en las emisiones de partículas PM₁₀. Los hallazgos indican que no se observa una relación inversa esperada, ya que el ingreso per cápita mantiene una relación directa con la contaminación. Sin embargo, el consumo de energía muestra un efecto inverso sobre los contaminantes, lo que sugiere que el aumento en la participación de fuentes renovables contribuyó a la reducción de las emisiones per cápita después de 2015. Estos resultados subrayan la importancia de impulsar políticas energéticas regionales centradas en la eficiencia y la transición hacia fuentes limpias para mejorar la calidad ambiental sin comprometer el desarrollo económico.

Palabras clave: fuentes de energía renovable (1005477), contaminación atmosférica (1000196), crecimiento económico (1001854), desarrollo regional (1005434) y desarrollo sostenible (1006319).

Abstract

This study examines the relationship between economic growth, energy consumption, and air pollution in Jalisco, Mexico, during the period 2003-2022. Econometric models were applied to analyze both short- and long-term effects in order to assess the influence of regional development and the impact of energy consumption on PM₁₀ emissions. Findings show no evidence of the expected inverse relationship, as per capita income maintains a positive association with pollution. However, energy consumption shows a negative effect on pollutants, suggesting that the increase in renewable energy sources contributed to a reduction in per capita emissions after 2015. These results highlight the importance of promoting regional energy policies focused on efficiency and transition to clean sources to improve environmental quality without compromising economic development.

Keywords: renewable energy sources (1005477), air pollution (1000196), economic growth (1001854), regional economics (1005434) and sustainable development (1006319).

Introducción

El debate sobre la relación entre desarrollo económico y medio ambiente ha estado presente en la literatura internacional durante décadas: por un lado, producir bienes y servicios requiere extraer y transformar recursos naturales, lo que implica que el crecimiento económico no puede sostenerse de manera indefinida sin generar impactos ambientales significativos (Meadows et al., 2018; Hansen et al., 2017). Por otro lado, diversos estudios han señalado que una abundancia excesiva de recursos naturales puede generar efectos económicos adversos al desincentivar la inversión o limitar la adaptación a cambios en las tendencias de consumo y competencia internacional (Sánchez, 2011; Sachs y Warner, 2001).

Asimismo, la contaminación (derivada de la actividad económica) genera problemas de salud pública que pueden ralentizar el crecimiento de los países, esto representa un costo económico estimado de hasta el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) en naciones de ingresos bajos y medios (Landrigan et al., 2018). No obstante, la innovación tecnológica que aplica el sector energético permite incrementar la eficiencia en el uso de la energía y sirve para ampliar la producción de energías limpias. Con esto, se reducen las emisiones de contaminantes, principalmente dióxido de carbono (Lin y Zhu, 2019; Sohag et al., 2015). Entre otros efectos positivos se encuentra la disminución de partículas menores a 10 micras (PM10) y en los óxidos de nitrógeno (Zhu et al., 2019).

Aunque el debate sobre la contaminación y el consumo energético es global, y en algunas ocasiones los organismos internacionales abordaron la idea de que solo acuerdos mundiales pueden revertir este problema, otras iniciativas han postulado soluciones a nivel regional como se observa en las estimaciones hechas por Li et al. (2024). Estos autores proponen que, si se diera una adopción de electricidad renovable del 100% en la ciudad de Los Ángeles, Estados Unidos, y si estuviera acompañada de la electrificación de sectores finales, se podría reducir la concentración de partículas de 2.5 micrómetros en un 8% river para 2045, lo que tendría un impacto neto positivo en la salud pública, estimado en mil millones de dólares (Li et al., 2024).

Otro caso es el balance de gases de efecto invernadero en el centro histórico de Siena (Italia), en el cual se muestra que medidas locales como la instalación de paneles fotovoltaicos en tejados pueden lograr reducir el 57% de emisiones brutas en 10 años, y

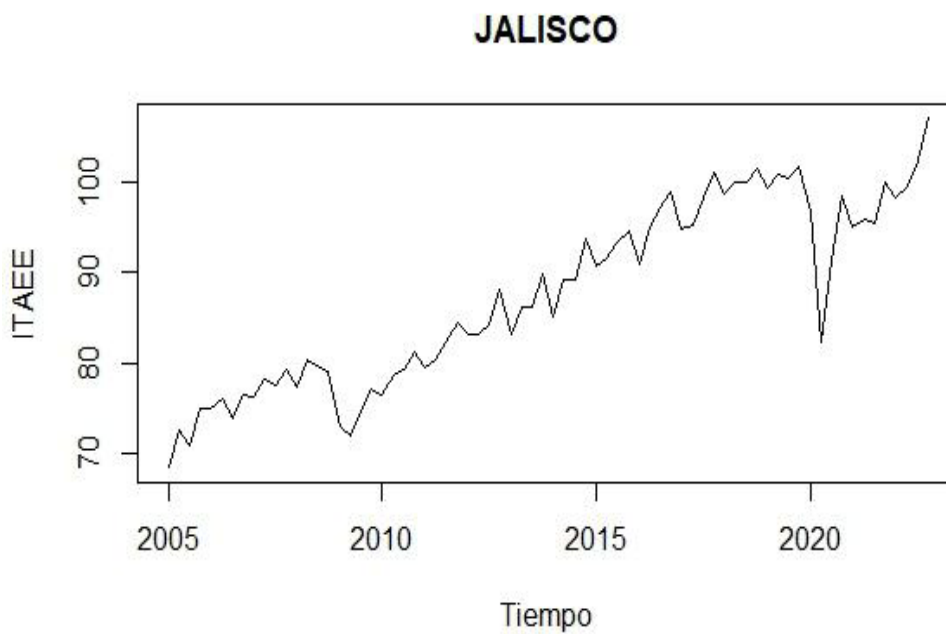
alcanzar en 30 años neutralidad en carbono, especialmente cuando la electricidad solar se destina a usos domésticos, públicos y de transporte eléctrico (Marchi et al., 2018).

Por lo tanto, el análisis de los efectos regionales al disminuir la contaminación atmosférica cobra especial relevancia, tanto como ejemplo ilustrativo de los beneficios locales de la transición energética, como herramienta comparativa frente a experiencias internacionales. En este contexto, la presente investigación centra su interés en identificar cómo los patrones de consumo y generación de energía inciden en los niveles de contaminantes atmosféricos en el estado de Jalisco; al mismo tiempo, se considera su papel económico estratégico a nivel nacional

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), Jalisco ocupó el tercer lugar en contribución al PIB nacional, con un 6.54%, solo por debajo de Nuevo León y la Ciudad de México, posición que mantuvo de forma constante entre 2003 y 2014, periodo en el que su crecimiento económico superó la media nacional. Sin embargo, este dinamismo no se reflejó en la reducción significativa de la pobreza, pues en 2014 el 36.5% de la población permanecía en alguna situación de vulnerabilidad económica (INEGI, 2014). Adicionalmente, para 2010, la contaminación ambiental aún no figuraba entre las principales problemáticas reconocidas por la agenda estatal (Gobierno de Jalisco, 2011). La trayectoria de crecimiento económico se sostuvo hasta 2022, aunque durante ese tiempo registró dos caídas relevantes: la primera durante la crisis financiera global de 2008, y la segunda derivada de la pandemia de COVID-19 en 2020 (ver Figura 1).

Figura 1

Gráfica de la evolución histórica del indicador trimestral de actividad económica estatal de Jalisco de 2005 a 2022



Fuente: Elaboración propia, con base en el INEGI (2024).

En paralelo, Jalisco es un estado de la República Mexicana que enfrenta conflictos ambientales, esto se observa tanto en problemas de suelo, agua y aire, principalmente por los altos niveles de partículas menores o iguales a 10 micras (PM_{10}) que afectan la salud de aproximadamente 1.4 millones de personas (Mena et al., 2017). Según Figueroa et al. (2016), se presentó la mortalidad de personas como consecuencia de la neumonía y enfermedades cardiovasculares en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Dichas enfermedades se agudizan en niños menores a 5 años principalmente, por un estado anabólico más activo debido a la transferencia de contaminantes (mano-boca) y pulmones en desarrollo (Petersen-Farah et al., 2019; Ramírez et al., 2006).

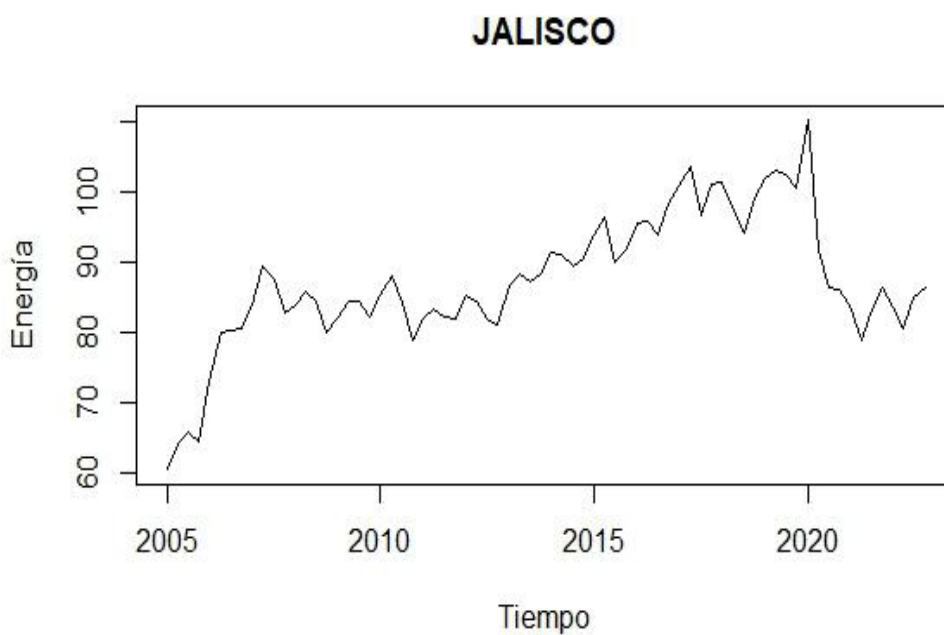
Debido a que la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero es la quema de combustibles fósiles, estudios más recientes muestran que en Jalisco el sector energía concentra alrededor del 54% de las emisiones totales, siendo el transporte el

principal contribuyente con aproximadamente 43% del total estatal (Gobierno de Jalisco, 2017). Por otro lado, la tendencia creciente de emisiones de dióxido de carbono se volvió preocupante, debido al rezago del uso de tecnología para la producción de energía.

Además, en Jalisco se consume una gran cantidad de energía superior a su producción, lo que lo convierte en un estado con déficit energético (Gobierno de Jalisco, 2013; Secretaría de Energía, 2017). A pesar de ser un estado que consume más energía que la que produce se puede observar que ha tenido una tendencia creciente, en los primeros años antes de la crisis del 2008, un posterior estancamiento hasta el 2014 y una aceleración alcista hasta el periodo del 2020 (ver Figura 2).

Figura 2

Gráfica evolución histórica del indicador trimestral de la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica del estado de Jalisco de 2005 a 2022



Fuente: Elaboración propia, con base en el INEGI (2024a).

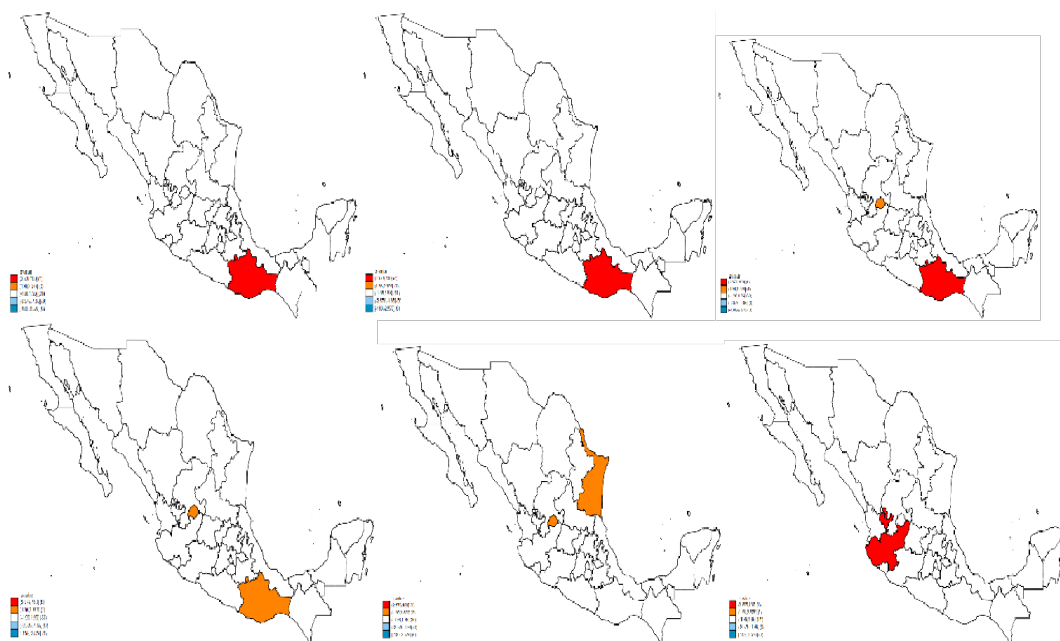
No obstante, este incremento de la producción de energía, si bien puede disminuir el déficit energético, también puede ocasionar un mayor daño ambiental; a menos que la nueva

producción de energía se genere mediante tecnologías limpias que permitan mantener la tasa económica y minimice el daño ambiental (SENER, 2013).

Esta fórmula (mayor crecimiento económico con menos daño ambiental) motivó al sector energético renovable (a pesar de seguir siendo mínimo), el cual creció a partir de 2015, principalmente por las buenas condiciones climáticas que lo llevó a explotar la energía fotovoltaica y eólica (Dominguez, 2021). Se puede observar que en los últimos años, la generación de energía renovable es mayor en el estado de Jalisco que en el estado de Oaxaca ver Figura 3).

Figura 3

Mapa de la evolución de puntos de calor y frío de 2016 a 2021 en México



Fuente: Elaboración propia, con base en la SEMARNAT (2023) y CENACE (2023).

Nota: Se utilizó la metodología de Ord y Getis (1995).

A partir de este contexto, la hipótesis central de esta investigación sostiene que los cambios en los patrones de generación y consumo de energía en Jalisco han tenido un impacto directo sobre los niveles de contaminación atmosférica, particularmente en los contaminantes asociados a la quema de combustibles fósiles como las partículas menores a 10 micras.

Para evaluar esta relación, el estudio se organiza en varias secciones: en primer lugar, se presenta una revisión de la literatura, donde se analizan investigaciones nacionales e internacionales sobre la relación entre energía y contaminación. Posteriormente, se expone la metodología, que detalla el enfoque de análisis, las fuentes de información empleadas (INEGI, SENER, CENACE y SINAICA) y los indicadores seleccionados para caracterizar tanto la producción de energía, el crecimiento económico y la evolución de la emisión de partículas menores a 10 micras. A continuación, se presentan los resultados que representan las tendencias de contaminación y la dinámica de variables; por último, se presentan las conclusiones, futuras líneas de investigación y limitaciones de la investigación.

A lo largo del desarrollo económico moderno, la producción y el consumo de energía asociados a la fabricación y al transporte de mercancías han constituido un elemento central del crecimiento, aunque no exento de costos. Desde sus primeras etapas, particularmente con la consolidación de los modelos industriales basados en combustibles fósiles durante el siglo XX, se ha advertido que la alta dependencia de estas fuentes energéticas genera importantes externalidades negativas. En este sentido, trabajos pioneros ya señalaban que el crecimiento económico, sustentado en la quema de hidrocarburos, conduce a procesos de degradación ambiental, reflejados principalmente en el incremento de las emisiones de CO₂ y, por ende, en la contaminación atmosférica (Meadows et al., 2018; Stern, 2008).

Ante este contexto, a partir de finales del siglo XX y con mayor énfasis en las últimas décadas, los países han comenzado a implementar estrategias orientadas a mitigar las emisiones atmosféricas mediante el fomento de un uso más eficiente de la energía. Estas políticas buscan reducir el consumo energético sin comprometer el bienestar de la población ni restringir de manera significativa sus decisiones de consumo (Paladan y Florida, 2013; Bertoldi, 2022).

Sin embargo, esta transición no está exenta de tensiones, ya que el crecimiento económico ha estado históricamente vinculado a la disponibilidad y uso intensivo de energía. En consecuencia, reducciones en el consumo energético pueden incidir negativamente en la inversión, el empleo y, en última instancia, en los niveles de vida, dado que dicho crecimiento requiere de un flujo constante de producción y uso de energía (Esparza y Hernández, 2023; Dirma et al., 2024; Dilanchiev et al., 2024). En este sentido, la literatura reciente plantea que más que reducir el consumo energético, el desafío radica en transformar

la matriz energética hacia fuentes menos contaminantes (Chiu y Chang, 2009; Shafiei y Salim, 2014; Ren et al., 2021; He et al., 2021).

En una dimensión complementaria, la evidencia empírica ha mostrado que los efectos más intensos de la degradación ambiental tienden a concentrarse en economías en desarrollo. Esto se explica por la menor madurez de sus procesos productivos, la debilidad institucional y la limitada capacidad de regulación ambiental. En este contexto, prácticas como la descarga de desechos industriales en cuerpos de agua o el uso intensivo de tecnologías contaminantes resultan relativamente frecuentes. Asimismo, el proceso de industrialización en estas economías suele ir acompañado de un aumento sostenido en las emisiones contaminantes, mientras que los niveles de concientización ambiental de la población aún son incipientes, lo que refuerza patrones de consumo poco sostenibles.

Finalmente, conforme las economías avanzan hacia etapas superiores de desarrollo, se observa un cambio en esta dinámica. La literatura ha documentado que el crecimiento económico, en niveles más altos de ingreso, puede asociarse con una reducción relativa de la degradación ambiental, debido a mejoras tecnológicas, mayor eficiencia productiva, instituciones más sólidas y una creciente demanda social por la protección del medio ambiente. Esta relación, conocida como la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) ha sido ampliamente contrastada en distintos contextos: desde estudios para Turquía (1960-2005) (Halicioglu, 2009), el corredor económico de Bangladesh, China, India y Myanmar (1972-2014) (Rahman et al., 2020), hasta análisis comparativos entre países de la OCDE y no OCDE, donde se identifica una mayor dependencia entre producción y contaminación en economías de bajos ingresos (Liddle, 2015). A nivel global, estimaciones recientes sugieren que el punto de inflexión de esta relación podría ubicarse alrededor de los 19,203 dólares per cápita (Wang et al., 2023).

En el caso mexicano, diversos estudios han explorado la relación entre crecimiento económico, energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Catalán (2021) analizó el periodo 1995-2015, mediante un modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), encontró que el ingreso y el consumo de energías no renovables son las principales variables que explican el comportamiento de las emisiones, mientras que el consumo de energías renovables presenta un efecto marginal a largo plazo, con una elasticidad de -0.021 , lo que indica un potencial limitado pero significativo en la mitigación de contaminantes.

Por su parte, Ríos, Cano y Hernández (2021) evaluaron el impacto de la reforma energética de 2014, utilizaron datos mensuales de 1993 a 2021, aplicaron la prueba de Chow para identificar cambios estructurales en el índice de extracción de gas y petróleo. Los resultados muestran una caída del promedio de 111.92 a 79.68, respectivamente antes de la reforma y después de su implementación, datos que evidencian un ajuste relevante en la dinámica extractiva.

Carrillo y Bocardo (2022) llevaron a cabo un análisis de cambio estructural para México, considerando el periodo 1972 a 2019, encontraron que la apertura económica y el gasto público contribuyen a mejorar la calidad ambiental. Este estudio respalda la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Los autores identifican tres quiebres estructurales: en 1990, asociado a la sustitución de importaciones; en 2006, cuando se consolidó la apertura económica; y tras la crisis de las hipotecas subprime, que marcó un nuevo patrón en la relación entre crecimiento y contaminación.

Metodología

La presente investigación analiza los determinantes de la contaminación atmosférica mediante el uso de las emisiones de partículas menores a 10 micras per cápita (PM_{10}), las cuales constituyen un indicador ampliamente utilizado para evaluar la calidad del aire. Estas partículas corresponden a material particulado con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 micrómetros, lo que les permite permanecer suspendidas en la atmósfera durante periodos prolongados y ser inhaladas por la población. Su origen puede ser tanto natural como el polvo o los incendios forestales como antropogénico, destacando en este último caso la quema de combustibles fósiles en el transporte, la actividad industrial y la generación de energía.

Adicionalmente, el modelo econométrico propuesto permite evaluar la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), mediante una especificación linealizada en logaritmos de las variables de interés. Bajo este enfoque, los coeficientes estimados pueden interpretarse como elasticidades, lo que facilita el análisis de la relación entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental (Halicioglu, 2009; Liddle, 2015).

$$y = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 Z + \varepsilon \quad (1)$$

La variable que explica la degradación ambiental (C) para este estudio es considerado como las emisiones de partículas menores a 10 micras. X es el nivel de riqueza, para ello se utiliza el Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (Y) en términos per cápita; además, se agrega el valor al cuadrado para identificar la no linealidad de la riqueza con la cual se espera identificar la CKA (Y^2). Para el valor de Z se consideran todas las demás determinantes de las emisiones que ayuden como variables auxiliares. Considerando las variables analizadas en otros estudios como el comportamiento del consumo de energía (Halicioglu, 2009) o en la misma sintonía con la esperanza de identificar los efectos del sector energético (Liddle, 2015), también se ha buscado identificar los efectos de la población (Liddle, 2015). Por ello, el modelo resultante queda de la siguiente forma:

$$c_t = \alpha + \beta_1 y_t + \beta_2 y_t^2 + \beta_3 p_t + \beta_4 e + \varepsilon_t \quad (2)$$

El estudio, al buscar los efectos dinámicos, representa el subíndice t que indica el tiempo; ε es el término del error, lo cual supone que tiene una distribución normal con media cero y varianza constante. Los resultados esperados para que cumplan la hipótesis CKA implica que $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 < 0$; además, se espera que $\beta_3 > 0$ y $\beta_4 < 0$.

Prueba de Cambio Estructural

Las series de tiempo pueden no ser estables en el tiempo si existe un cambio estructural en el nivel y/o la tendencia que puede ser ocasionado por diferentes motivos, como una reforma estructural en la matriz de generación de energía, pues si se conoce la fecha que ocasiona el cambio estructural se puede utilizar la prueba de Chow, la cual realiza una prueba F de dos submuestras comparadas con la muestra completa generada por la suma de los cuadrados de las regresiones (Rivera et al., 2022; Carrillo y Bocardo, 2022).

Pruebas de estacionariedad

Al tratar de resolver el modelado econométrico mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a variables que no son estacionarias; es decir, de media constante en el tiempo, los resultados resultan ser espurios, por ello, se realizan las pruebas de estacionariedad clásicas Dickey Fuller Aumentada y Phillips Perron, donde la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria (Said y Dickey, 1984; Phillips y Perron, 1988). Sin embargo, al considerar la presencia de cambios estructurales en las variables de análisis, pero con una fecha desconocida, Zivot y Andrews (1992) proponen un algoritmo que permite la identificación de esta ruptura estructural, ya sea un quiebre en el nivel y/o en la tendencia agregando la variable dummy del tiempo para cada periodo a la prueba de Perron.

Pruebas de cointegración

En un modelo dinámico es posible que exista una combinación lineal a largo plazo, para ello se realiza una prueba a los residuos del modelo lineal buscando una raíz unitaria que muestre que las variables se encuentran cointegradas (Engle y Granger, 1987). Una desventaja que tiene esta técnica es que requiere que el nivel de integración sea el mismo; además, requiere que la muestra sea suficientemente grande para no sesgar los resultados. Para esos efectos, una metodología que puede resolver dichos problemas es la prueba de límites autorregresivos distribuidos (ARDL) de Pesaran et al. (1999; 2001).

Modelo Autorregresivo con Rezagos Distribuidos y Vector Corrector de Errores

Para identificar las elasticidades se utiliza el vector autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL), modelo que explica el comportamiento de la variable de interés mediante sus propios valores rezagados más todos los valores rezagados de las demás variables de control para obtener un error no correlacionado agregando un número suficiente de rezagos para capturar el proceso de generación de datos, por lo que el orden de integración de las variables no sesgue los resultados (Shrestha y Bhatta, 2018; Stock y Watson, 2001). Si las series son co-integradas, pueden identificar los efectos a corto y largo plazo con el multiplicador al agregar un vector corrector de errores, que solo con una simple

transformación lineal no pierde información y evita relaciones espurias ocasionadas por el orden de integración (Williams et al., 2022; Menegaki, 2019; Granger, 1998).

$$\Delta c_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta c_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta y_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \theta_i \Delta p_{t-i} + \sum_{i=1}^p \varphi_i \Delta e_{t-i} + \lambda_1 c_{t-1} + \lambda_2 y_{t-1} + \lambda_3 y_{t-1}^2 + \lambda_4 p_{t-1} + \lambda_5 e_{t-1} + \lambda_6 vce_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

En la ecuación 3, se presenta el modelo ARDL con VCE, donde la primera parte $\beta, \gamma, \delta, \theta$ y φ representa los efectos dinámicos a corto plazo, mientras que la segunda parte con las λ representan las relaciones a largo plazo, siendo el corrector del error el factor sub-sexto.

Datos

Para el estudio, se utiliza información trimestral del primer trimestre de 2005 al cuarto trimestre de 2022; para la variable de contaminación (c) se utiliza el promedio trimestral de partículas menores a 10 micras tomado del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire sobre la población (SINAICA) (INECC, 2024), para el ingreso per cápita (y) se toma el Indicador de la Actividad Económica Estatal sobre la población; para la población (p) se toma la población mayor a 15 años; para la energía (e) se toma el Indicador del total de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final tomados del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024; INEGI, 2024a; INEGI, 2024b).

Resultados

Hechos estilizados

La Tabla 1 muestra que la única media que disminuye en el segundo periodo es la contaminación, que pasó del índice de 116.77 a 97.77 de media; además, de ser la única variable que disminuye su volatilidad, cabe destacar que de las variables que crecieron la segunda con mayor importancia después del crecimiento de la población es el crecimiento del índice de energía que pasó de 81.14 a 93.25 de media. Es importante señalar que es

común observar porcentajes significativos de valores no disponibles, sobre todo si se habla de redes de monitoreo de la calidad del aire. Por esta razón, se utilizó la técnica de interpolación del filtro de Kalman, la cual es adecuada cuando el porcentaje de valores no disponibles es menor al 25% (Grisales et al., 2019; Ávila, Musso y Ávila, 2014; Medina y Galván, 2007).

Tabla 1

Estadísticas descriptivas de las variables en nivel

	2005(1) a 2015(3)		2015(4) a 2022(4)		Porcentaje valores no disponibles
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
C	116.77	34.91	97.77	26.21	16.13%
Y	92.13	2.61	96.13	4.36	0%
P	85.31	4.07	100.08	6.26	1.41%
E	81.14	7.10	93.25	7.43	0%

Fuente: Elaboración propia, en R con base en el INEGI (2024; 2024a; 2024b) e INECC (2024).

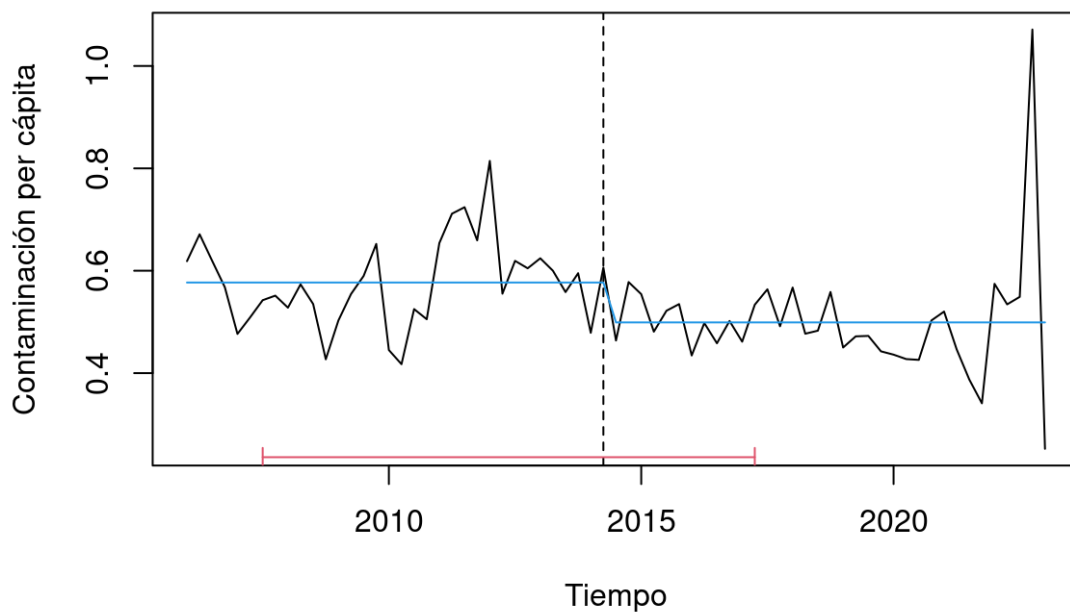
Nota: Los valores presentados se encuentran como índice base el segundo trimestre del 2018.

Cambio estructural

Para realizar las pruebas siguientes, las variables fueron desestacionalizadas para que permitan conocer los efectos a largo plazo con mejor exactitud; con esa finalidad se utilizó la metodología utilizada por INEGI: la técnica *X13-ARIMA-SEATS* (INEGI, 2018). En la Figura 4, se observa el cambio estructural que ocurre en el tercer trimestre del 2015, con una caída en el nivel de la contaminación per cápita. Para revisar dicho cambio estructural se realizó la prueba de Chow, donde el resultado de la prueba F es de 11.378 con un valor de probabilidad de 0.024, por lo que se puede concluir que el cambio estructural es significativo al 95%.

Figura 4

Cambio estructural de la contaminación per cápita en el tercer trimestre del 2015



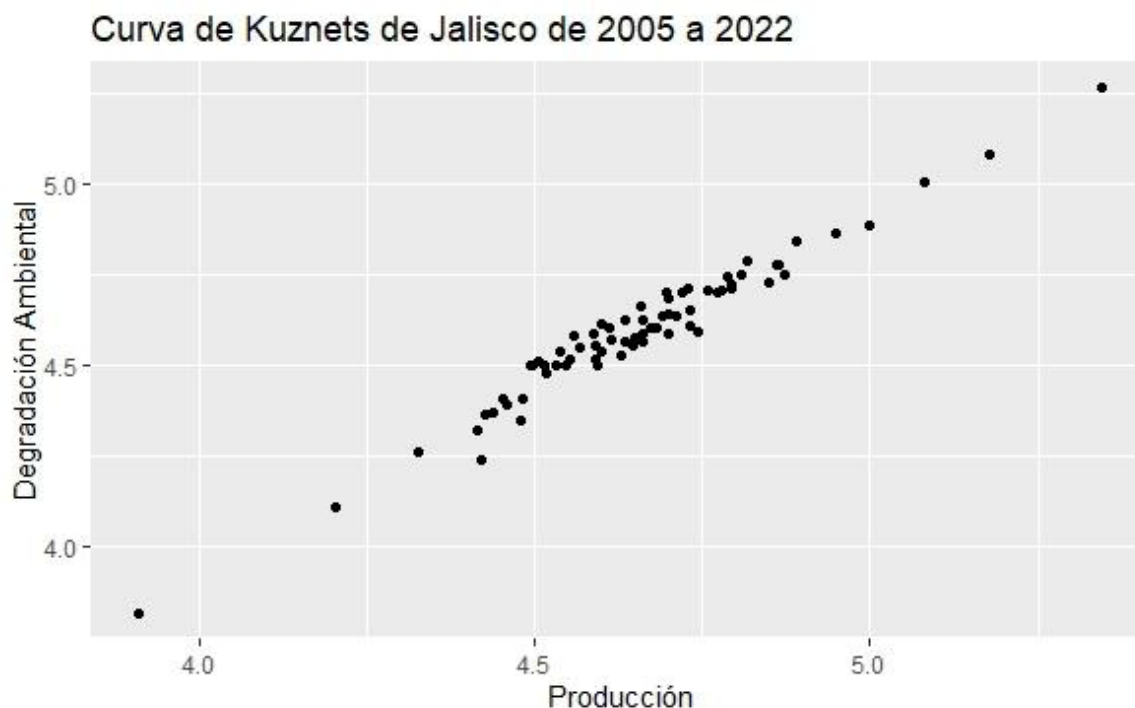
Fuente: Elaboración propia, en R con base en el INEGI (2024b) e INECC (2024).

Nota: Contaminación per cápita representa las emisiones de partículas menores a 10 micras per cápita (PM₁₀)

Curva de Kuznets

Figura 5

Representación de la Curva de Kuznets Ambiental de Jalisco de 2005 a 2022



Fuente: Elaboración propia, en R con base en el INEGI (2024; 2024a; 2024b) e INECC (2024).

Nota 1: Degradación ambiental, representa las emisiones de partículas menores a 10 micras per cápita (PM_{10}) y Producción representa el Indicador de la Actividad Económica Estatal sobre la población.

En la Figura 5, se observan las variables que representan la degradación ambiental que utiliza las emisiones de partículas menores a 10 micras y la producción que hace referencia al ingreso. Ambas series de datos fueron formuladas con valores en logaritmos de sus valores per cápita. En la figura se observa que la posible hipótesis de la CKA no se identifica de manera visual; es decir, existen efectos lineales: a mayor crecimiento del ingreso se incrementa el nivel de degradación ambiental.

Pruebas de estacionariedad

El nivel de integración entre las variables es diferenciado entre las variables de estudio al utilizar las pruebas de Dickey Fuller, Phillips Perron y Zivot y Andrews; no obstante lo anterior, se identificó un cambio estructural significativo en el cual se opta por tomar como válidos los valores que ofrecen ZA. En el caso de las variables de estudio, la contaminación y el ingreso son estacionarios en diferentes niveles; sin embargo, al realizar la primera diferencia todas las variables pasan a ser estacionarias (ver Tabla 2).

Tabla 2*Pruebas de estacionariedad*

	Dickey Fuller	Philips Perron	Zivot y Andrews
c	-3.88**	-7.02***	-7.65***
y	-2.34	-2.98	-4.23**
y^2	-2.86	-3.07	-3.26
p	-2.71	-2.81	-3.72
e	-2.05	-2.20	-3.61
Δc	-9.27***	-15.09***	-13.64***
Δy	-7.79***	-11.39***	-10.71***
Δy^2	-6.74***	-9.37***	-9.51***
Δp	-6.41***	-8.57***	-8.80***
Δe	-4.92***	-8.70***	-9.21***

Nota: el valor de y^2 se estimó también los valores con Δy^2 se refieren a sus valores en su primera diferencia.

Fuente: Elaboración propia, en R con base en el INEGI (2024; 2024a; 2024b) e INECC (2024).

Prueba de Cointegración y Vector Corrector de Errores

En la Tabla 3 se puede observar que los modelos propuestos muestran una relación a largo plazo con la prueba de límites del modelo autorregresivo con rezagos distribuidos como se observa con el F estadístico de la prueba, donde tanto con intercepto como sin intercepto, se muestra una relación significativa de cointegración para los 3 modelos. Ahora bien, se

presentan los resultados del coeficiente del Vector Corrector del Error, los cuales muestran la significancia todos al 99%, además de cumplir con el signo negativo que permite la convergencia del corto al largo plazo (Menegaki, 2019).

Tabla 3

Pruebas de cointegración y vector corrector del error

F	2005 a 2022	2005(1) a 2015(3)	2015(4) a 2022(4)
Con intercepto	83.904***	27.555***	22.718***
Sin intercepto	100.46**	32.794***	25.414***
Vector Corrector del Error			
VCE	-3.6919***	-3.6750***	-3.8386***

Fuente: Elaboración propia en R con base en el INEGI (2024; 2024a; 2024b) e INECC (2024).

Modelos Autorregresivos con Rezagos Distribuidos con Vector Corrector de Errores (ARDL-VCE)

En la tabla 4, se puede observar el resultado de los multiplicadores tanto a corto como a largo plazo, para 3 modelos: uno con todos los datos disponibles; el modelo 2 y 3 separa la información antes y después de la identificación del cambio estructural de las emisiones de partículas menores a 10 micras. En el primer modelo con toda la información se observa que los efectos a corto plazo no muestran existencia de la Curva Ambiental de Kuznets, debido a que el coeficiente del ingreso per cápita si resulto ser positivo como es de esperar, pero esto mismo ocurre con el cuadrado del ingreso per cápita siendo 1.0025 y 0.4869; asimismo, cabe destacar que el indicador de la energía ayuda a disminuir la contaminación con un valor de -0.0047, todos los valores mencionados son significativos al 99%. En consecuencia, los resultados a largo plazo no difieren ni se identifica la hipótesis de CKA con los dos valores esperados significativos, pero cabe destacar que la elasticidad de disminución de la contaminación es mayor con un coeficiente de -0.0060.

El modelo 2 busca identificar las elasticidades de las variables explicativas antes del cambio estructural del tercer trimestre del 2015; se observa que existe una diferencia importante y es que existe una relación negativa con el ingreso per cápita a corto plazo

con la contaminación con un coeficiente de -0.0384 , la significancia es menor. Además, la relación negativa se puede dar debido a que en ese momento, después del máximo obtenido en el segundo trimestre del 2008, se tiene una caída del ingreso que no se recupera hasta dos años después. En este mismo periodo, el incremento de la población se ve relacionado con un incremento de la contaminación con un coeficiente de 0.4959 , es el periodo en que el indicador de energía ayuda en la mayor disminución de la contaminación con una elasticidad de -1.0280 . Mientras que, a largo plazo, los resultados son similares: no se identifica la presencia de una Curva Ambiental de Kuznets y la energía disminuye la contaminación con un coeficiente de -0.0104 .

En el modelo 3, para después del cambio estructural del cuarto trimestre del 2015 al cuarto trimestre de 2022, se observa que a corto plazo los resultados no muestran la existencia de la hipótesis CKA; además, la ayuda de la disminución es un poco superior comparado con la información completa con un coeficiente de -0.0281 comparado con el -0.0047 mencionado. Asimismo, los efectos a largo plazo son consistentes con los hallazgos entre todos los modelos, siendo que los coeficientes del ingreso per cápita es positivo; es decir, a mayor ingreso un mayor grado de contaminación, la no existencia de la hipótesis de CKA, el incremento de la población disminuye la contaminación. En resumen, la contaminación per cápita está cayendo con el tiempo y el incremento del sector energético ayuda a la disminución de la contaminación que puede ser ocasionado por la transformación energética a fuentes de generación más limpias.

La prueba de Reset de Ramsey demuestra que la hipótesis es nula, pues no existe error de especificación, donde pueden ser ocasionados por la omisión de variables, elección incorrecta de la forma funcional, problemas de ecuaciones simultáneas y heterocedasticidad. Los resultados del estadístico estimado no permiten rechazar la hipótesis nula, por lo que los problemas mencionados no se pueden suponer (Ramsey, 1969). Además, los resultados son consistentes con el supuesto de homocedasticidad, ya que la prueba de Breush Pagan no puede ser rechazada con los estadísticos estimados, la existencia de heterocedasticidad puede ser ocasionado por volatilidades agrupadas, un comportamiento caótico e inestabilidad en el tiempo lo que ocasiona estimadores sesgados (Birau, 2012).

Otras formas de generar estimadores sesgados es con la existencia de la relación entre los errores y sus rezagos. Para esta prueba de autocorrelación se utilizó la prueba popular con

un rezago Durbin Watson, en la cual se puede concluir que no existe autocorrelación de los errores (Tillman, 1975). O mediante que los errores no se distribuyan de forma normal, ya que este supuesto subyace de todos los modelos económicos; para ello, se utiliza la prueba más utilizada que hace uso de la distribución del sesgo y su curtosis. Con la prueba de Jarque Bera se puede observar que a partir del cambio estructural, la estimación de los parámetros es más eficiente ya que no se puede rechazar la hipótesis de normalidad (Yap y Sim, 2011).

Tabla 4

Modelos ARDL-VCE

CP	2005 a 2022	2005(1) a 2015(3)	2015(4) a 2022(4)
Δy	1.0025***	-0.0384**	1.0006*
Δy^2	0.4869***	1.0028***	0.4716***
Δp	-0.9868***	0.4959***	-0.6711***
Δe	-0.0047***	-1.0280***	-0.0281**
LP			
y	0.9992***	0.9991***	0.9997*
y^2	0.5026***	0.5032***	0.5015***
p	-1.0015***	-1.0024***	-1.0058***
e	-0.0060***	-0.0104**	-0.0036*
Pruebas			
Reset de Ramsey	0.8059	0.5744	0.7376
Breusch-Pagan	13.456	9.102	13.297
Durbin-Watson	2.1019	2.243	2.404
Jarque Bera	25.856***	16.688***	0.3522

Fuente: Elaboración propia en R con base en el INEGI (2024; 2024a; 2024b) e INECC (2024).

Discusión

En el caso de Jalisco, los resultados del análisis indican que no existe evidencia empírica que respalde la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CKA). Este hallazgo se mantiene consistente tanto al considerar la muestra completa como al segmentarla en los periodos previos y posteriores al cambio estructural identificado en 2015. En particular, el ingreso per cápita presenta un efecto positivo sobre la contaminación, mientras que su término cuadrático también exhibe un signo positivo y significativo, lo cual descarta la presencia de

una relación en forma de “U invertida”. Este resultado sugiere que, en el contexto analizado, el crecimiento económico continúa asociado a un mayor nivel de degradación ambiental, lo que difiere parcialmente de la evidencia encontrada a nivel nacional por Carrillo y Bocardo (2022), quienes identifican ciertos patrones compatibles con la CKA en etapas posteriores a choques macroeconómicos relevantes.

Este comportamiento puede interpretarse a partir de las características estructurales de la economía estatal, donde el crecimiento económico aún parece depender de actividades intensivas en el uso de energía y con limitada incorporación de tecnologías limpias. A diferencia de economías más avanzadas, donde el crecimiento puede desacoplarse progresivamente de las emisiones contaminantes, los resultados sugieren que Jalisco se encuentra en una etapa en la cual dicho desacoplamiento no se ha consolidado. En este sentido, la ausencia de la CKA no necesariamente contradice la teoría, sino que más bien indica que el nivel de ingreso aún no alcanza el umbral requerido para observar mejoras ambientales derivadas del desarrollo económico.

Por otra parte, uno de los hallazgos más relevantes del estudio es la relación negativa entre el indicador de energía y la contaminación atmosférica, la cual se mantiene consistente tanto en el corto como en el largo plazo. Este resultado implica que incrementos en el índice de energía están asociados con reducciones en las emisiones de partículas PM_{10} , lo cual puede interpretarse como evidencia indirecta de un proceso de transición energética hacia fuentes más limpias o de mejoras en la eficiencia energética. Este hallazgo es consistente con lo documentado por Catalán (2021), quien encuentra efectos marginales pero significativos de las energías renovables en la reducción de emisiones en México.

Adicionalmente, al analizar los resultados antes y después del cambio estructural de 2015, se observa que el efecto mitigador de la energía sobre la contaminación se intensifica en ciertos periodos, lo que sugiere la posible influencia de políticas públicas, cambios regulatorios o transformaciones en la matriz energética. Este patrón también ha sido documentado a nivel internacional, donde la adopción de tecnologías más limpias y políticas ambientales más estrictas han contribuido a reducir la contaminación en contextos urbanos e industriales, como en el caso de ciudades como Los Ángeles o diversas regiones de China (Lin y Zhu, 2019; Li et al., 2024). En este sentido, los resultados obtenidos para Jalisco podrían estar reflejando una tendencia hacia una mayor sostenibilidad energética.

Finalmente, los resultados también evidencian un comportamiento relevante en la variable poblacional, ya que se observa una relación negativa entre el crecimiento de la población y los niveles de contaminación. Este resultado, aunque aparentemente contraintuitivo, puede interpretarse desde una perspectiva de eficiencia económica y urbana. En particular, un aumento en la población puede estar asociado con procesos de urbanización y economías de escala que permiten un uso más eficiente de la infraestructura, el transporte y los recursos energéticos, reduciendo así la intensidad contaminante de la actividad económica. Asimismo, este resultado podría reflejar cambios estructurales hacia sectores menos intensivos en emisiones o una mayor concentración de políticas ambientales en zonas con mayor densidad poblacional. No obstante, también es posible que la variable poblacional esté capturando efectos indirectos relacionados con el desarrollo económico o la modernización tecnológica, por lo que su interpretación debe realizarse con cautela. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la dinámica de la contaminación en Jalisco responde a una interacción compleja entre crecimiento económico, estructura productiva y factores demográficos, lo que refuerza la necesidad de diseñar políticas públicas integrales orientadas a la sostenibilidad ambiental.

Conclusiones

El estudio sobre la relación entre el crecimiento económico, el consumo de energía y la contaminación en Jalisco, muestra que no se confirma la presencia de la Curva Ambiental de Kuznets (CKA), ni a corto ni a largo plazo para el periodo del primer trimestre de 2005 y último trimestre de 2022. Los resultados indican que el ingreso per cápita mantiene una relación positiva con la contaminación, mientras que el consumo energético contribuye a reducir las partículas PM_{10} . Esta disminución parece estar vinculada a la mayor participación de fuentes de energía limpias, lo cual se hace evidente a partir de 2015.

En términos prácticos, los resultados muestran que la reducción de la contaminación no depende únicamente de alcanzar altos niveles de ingreso, sino que pueden lograrse mediante políticas energéticas que prioricen la eficiencia y la sustitución de combustibles fósiles. Para el caso de Jalisco, la caída de las emisiones per cápita parece responder más a cambios graduales en la matriz energética que a un proceso automático vinculado al

desarrollo económico. Esto sugiere que las estrategias locales enfocadas en la generación de energía limpia pueden forjar mejoras ambientales tangibles, al mismo tiempo que permiten mantener la actividad económica y el bienestar de la población.

El análisis tiene algunas limitaciones que deben considerarse. La principal es la disponibilidad de información, debido a que la disponibilidad de información estatal no permite analizar datos a detalle, como, por ejemplo, el tipo de energía utilizada. Si hubiera esta información se podría esclarecer en mayor medida la contribución de energías limpias, y así disminuir la contaminación y recomendar cambios en la tecnología industrial, en las regulaciones locales o en los patrones de movilidad urbana, que también influyen en la calidad del aire. Además, el estudio se concentra en PM_{10} , sin abarcar otros contaminantes relevantes como $PM_{2.5}$, NO_2 u ozono, que podrían reflejar dinámicas distintas. Para avanzar en esta línea, futuras investigaciones podrían incluir más contaminantes, períodos recientes y comparaciones entre estados con diferente estructura productiva y matriz energética. También sería útil aplicar modelos espaciales o paneles dinámicos capaces de capturar efectos de derrame entre regiones.

Recomendaciones

Más allá del ámbito académico, los hallazgos de este estudio ofrecen elementos relevantes para la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones en materia ambiental y energética. En primer lugar, los resultados sugieren que la reducción de la contaminación no depende exclusivamente del nivel de ingreso, por lo que es necesario implementar estrategias activas orientadas a la eficiencia energética y a la transición hacia fuentes de energía más limpias. En este sentido, se recomienda fortalecer los incentivos para la adopción de energías renovables, así como promover inversiones en infraestructura energética sostenible que permitan consolidar la tendencia observada de disminución de emisiones asociadas al consumo energético.

Asimismo, dado que el crecimiento económico en Jalisco continúa mostrando una relación positiva con la contaminación, resulta fundamental diseñar políticas que desacoplen el crecimiento de la degradación ambiental. Esto puede lograrse mediante regulaciones más estrictas en sectores intensivos en emisiones, la promoción de tecnologías

limpias en la industria y el fomento de prácticas productivas sostenibles. De igual forma, el fortalecimiento de mecanismos de monitoreo ambiental y la mejora en la calidad y disponibilidad de los datos permitirían una mejor evaluación de las políticas implementadas.

Por otro lado, los resultados asociados a la variable poblacional sugieren la existencia de posibles economías de escala en el uso de recursos, lo que abre la puerta a políticas urbanas enfocadas en la eficiencia, tales como el desarrollo de transporte público sustentable, la planeación urbana compacta y el uso eficiente de la infraestructura energética. Estas medidas no solo contribuirían a reducir la contaminación, sino también a mejorar la calidad de vida de la población.

Finalmente, se recomienda profundizar en el análisis de la matriz energética a nivel estatal, incorporando información más desagregada sobre el tipo de fuentes utilizadas, así como ampliar el estudio hacia otros contaminantes relevantes. Esto permitiría diseñar políticas más focalizadas y evaluar con mayor precisión el impacto de la transición energética en la calidad ambiental.

Conflicto de interés

El autor declara que no existe conflicto de interés en la realización del presente estudio.

Financiamiento

La presente investigación no contó con fuente de financiamiento externo.

Uso de inteligencia artificial

Se utilizaron herramientas de inteligencia artificial únicamente para mejorar la redacción y claridad del manuscrito. El análisis, interpretación de resultados y conclusiones son responsabilidad exclusiva del autor.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en este estudio son de acceso público y provienen de fuentes oficiales del gobierno de México. Específicamente, se emplearon bases de datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, disponibles en sus portales institucionales.

Autoría y contribuciones

El autor fue responsable de la concepción del proyecto, diseño metodológico, recopilación y análisis de datos, desarrollo del modelo, elaboración de visualizaciones, interpretación de resultados y redacción del manuscrito en su totalidad.

Referencias

- Ávila, O., Musso, H. y Ávila, G. (2014). Modelización bivariada de series de tiempo no lineales de S02 y velocidad de viento en Salta Capital, Argentina, con soporte de perceptrones multicapa ponderados. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 33, 25-36.
- Bertoldi, P. (2022). Policies for energy conservation and sufficiency: Review of existing policies and recommendations for new and effective policies in OECD countries. *Energy and Buildings*, 264, 112075. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112075>
- Birau, F. R. (2012). Econometric approach of heteroskedasticity on financial time series in a general framework. *Economy Series*, 4, 74-77.
- Carrillo Ovando, R. W. y Bocardo Valle, A. (2022). Liberalización económica y emisiones de CO₂ en México: un análisis de series de tiempo, 1972-2019. *UVserva*, (13), 113-140. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi13.2811>
- Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del desarrollo*, 52(204), 59-83. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611>
- CENACE (2023). *Solicitudes de Estudios y Contratos de Interconexión y Conexión*. <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/SolicitudConexion.aspx>

- Chiu, C.-L. y Chang, T.-H. (2009). What proportion of renewable energy supplies is needed to initially mitigate CO2 emissions in OECD member countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1669-1674. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.026>
- Dilanchiev, A., Umair, M. y Haroon, M. (2024). How causality impacts the renewable energy, carbon emissions, and economic growth nexus in the South Caucasus Countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 31(22), 33069-33085. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33430-7>
- Dirma, V., Neverauskienė, L. O., Tvaronavičienė, M., Danilevičienė, I. y Tamošiūnienė, R. (2024). The impact of renewable energy development on economic growth. *Energies*, 17(24), 6328. <https://doi.org/10.3390/en17246328>
- Dominguez, G. (2021). Energía. En A. Acosta y C. Aviles, *Jalisco después del COVID-19*. (Pp. 81-87). Universidad de Guadalajara.
- Engle, R. y Granger, C. (1987). Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica*, 55, 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Esparza, J. y Hernández, C. (2023). ¿Se retroalimentan las energías renovables con el crecimiento económico en México?: análisis del 2013-2020. *Paradigma económico*, 15(2), 143-173. <https://doi.org/10.36677/paradigmaeconomico.v15i2.21930>
- Figueroa Montaña, A., Davydova-Belitskaya, V., Garibay Chávez, G., Parada Gallardo, T. y Orozco-Medina, M. G. (2016). PM10 y O3 como factores de riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonía en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Ingeniería*, 20(1), 14-23.
- Gobierno de Jalisco (2011). *2010, Diez Problemas de la población de Jalisco: Una perspectiva sociodemográfica*. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Diez-problemas-de-la-poblaci%C3%B3n-de-Jalisco-una-perspectiva-sociodemogr%C3%A1fica.pdf>
- Gobierno de Jalisco. (2013). *Plan Estatal de Desarrollo 2013-2033. Un plan de todos para un futuro compartido*. https://sepaf.jalisco.gob.mx/sites/sepaf.jalisco.gob.mx/files/ped-2013-2033_0.pdf

- Gobierno del Estado de Jalisco. (2017). *Inventario estatal de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de Jalisco*. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. <https://cambioclimatico.jalisco.gob.mx/inventario.html>
- Granger, C. (1988). Some Recent Development in a Concept of Causality. *Journal of Econometrics*, 39, 199-211. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)
- Grisales, S., Villa, F., Grisales, H., Nieto, E., Ospina, D., Agudelo, R., Montealegre, N. y Pineros, J. (2019). *Imputación de datos perdidos en series de mediciones de contaminantes atmosféricos insumo para la vigilancia en salud ambiental*. <https://doi.org/10.1109/CASAP48673.2019.9364069>
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.012>
- Hansen, J. P., Narbel, P. A. y Aksnes, D. L. (2017). Limits to growth in the renewable energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 769-774. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.257>
- He, C., Hong, S., Zhang, L., Mu, H., Xin, A., Zhou, Y., Liu, J. y Liu, N. (2021). Global, continental, and national variation in PM2.5, O3, and NO2 concentrations during the early 2020 COVID-19 lockdown. *Atmospheric Pollution Research*, 12(1), 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.10.017>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2024). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Partículas (menores a 10 micras)*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/scica/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2014). *Estructura económica de Jalisco, en síntesis*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825083991.pdf
- _____. (2018). *Metodología del ajuste estacional 2017. Análisis de series de tiempo-México-Metodología. 2. Estadística matemática*. INEGI.
- _____. (2024). *Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE)*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/itaee/#tabulados>

- _____. (2024a). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), población de 15 años y más de edad*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/default.html#Tabulados>
- _____. (2024b). *Indicador del Total Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/imai/2018/#tabulados>
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Baldé, A. B. y Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The lancet*, 391(10119), 462-512. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)32345-0)
- Li, Y., Ravi, V., Heath, G., Zhang, J., Vahmani, P., Lee, S. M., ... y Ban-Weiss, G. A. (2024). Air quality and public health co-benefits of 100% renewable electricity adoption and electrification pathways in Los Angeles. *Environmental Research Letters*, 19(3), 034015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad24cc>
- Liddle, B. (2015). What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates. *Global Environmental Change*, 31, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.016>
- Lin, B. y Zhu, J. (2019). The role of renewable energy technological innovation on climate change: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 659, 1505-1512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.449>
- Marchi, M., Niccolucci, V., Pulselli, R. M. y Marchettini, N. (2018). Environmental policies for GHG emissions reduction and energy transition in the medieval historic centre of Siena (Italy): The role of solar energy. *Journal of Cleaner Production*, 185, 829-840. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.068>
- Medina, F. y Galván, M. (2007). Imputación de datos: teoría y práctica. *CEPAL- Serie Estudios estadísticos y prospectivos*, 54, 1-84.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. y Behrens, W. W. (2018). The limits to growth. En *Green planet blues*. (Pp. 25-29). Routledge.
- Mena, L. H., Valdez, J. G., de Jesús Díaz, J. y García, E. V. (2017). *Contaminación del aire por partículas (PM10) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara, Jalisco*. Reaxion, Ciencia y Tecnología Universitaria.

- Menegaki, A. (2019). The ARDL Method in the Energy-Growth Nexus Field; Best Implementation Strategies. *Economies, MDPI*, 7(4), 1-16. <https://doi.org/10.3390/economies7040105>
- Ord, J. K. y Getis. A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27, 286-306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>
- Paladan, N. N. y Florida, J. S. (2013). Reducing Energy Consumption as a Social Responsibility: Towards a Sustainable Energy Supply. *International Journal of Innovation in Management*, 1, 29-40.
- Pesaran, H., Shin, Y. y Smith, R. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634.
- _____. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16, 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Petersen-Farah, A., Márquez-Amezcu, J. M., Luévanos-Velázquez, A., Rodríguez-Rodríguez, J. G., Esparza-Rubio, D., Pérez-Castillo, M. G. y Tabares-López, G. S. (2019). Estado de salud en niños de 3 a 5 años en colonias con mayor y menor exposición a contaminación del aire en zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, 2018. *Salud Jalisco*, 6(1), 20-30.
- Phillips, P. y Perron, P. (1988). Testing for a unit roots in a time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346. <https://doi.org/10.2307/2336182>
- Rahman, A., Murad, S. W., Ahmad, F. y Wang, X. (2020). Evaluating the EKC hypothesis for the BCIM-EC member countries under the belt and road initiative. *Sustainability*, 12(4), 1478. <https://doi.org/10.3390/su12041478>
- Ramírez, H., Andrade, M., González, M. y Celis, A. (2006). Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. *salud pública de México*, 48, 385-394.
- Ramsey, J. B. (1969). Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society Series B. Statistical Methodology*, 31(2), 350-371. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1969.tb00796.x>

- Ren, X., Cheng, C., Wang, Z. y Yan, C. (2021). Spillover and dynamic effects of energy transition and economic growth on carbon dioxide emissions for the European Union: A dynamic spatial panel model. *Sustainable Development*, 29(1), 228-242. <https://doi.org/10.1002/sd.2144>
- Ríos, A. G. G., Cano, J. E. S. y Hernández, J. A. R. (2021). Estrategias fallidas del modelo de eficiencia energética del sector eléctrico mexicano. *eseconomía*, 55, 63-86 <https://doi.org/10.29201/eseconomia.v16i55.51>
- Rivera, A. A., Durón, N. G. y Quezada, G. E. M. (2022). Análisis del impacto de la sustentabilidad corporativa en el desempeño financiero de las empresas que cotizan en el IPC sustentable. *Panorama Económico*, 17(36), 199-220. <https://doi.org/10.29201/peipn.v17i36.117>
- Sachs, J. D. y Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European economic review*, 45(4-6), 827-838. [https://doi.org/10.1016/s0014-2921\(01\)00125-8](https://doi.org/10.1016/s0014-2921(01)00125-8)
- Said, S. y Dickey, D. (1984). Testing for Unit Roots in Autoregressive-Moving Average Models of Unknown Order. *Biometrika*, 71, 599-607. <https://doi.org/10.1093/biomet/71.3.599>
- Sánchez, M. (2011). ¿Condicionan los recursos naturales el crecimiento económico? *Semestre Económico*, 14(9), 117-128.
- Secretaría de Energía (2017). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284345/Prospectiva_del_Sector_El_ctrico_2017.pdf
- SEMARNAT (2023). *Capacidad instalada y generación de electricidad por sector y fuente de energía limpia*. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA03_05&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*
- SENER (2013). *Estrategia nacional de energía 2013-2027*. https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/62/1/2013-02-28-1/assets/documentos/ESTRATEGIA_NACIONAL_ENERGIA.pdf
- Shafiei, S. y Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>

- Shrestha, M. B. y Bhatta, G. R. (2018) Selecting Appropriate Methodological Framework for Time Series Data Analysis. *The Journal of Finance and Data Science*, 4, 71-89. <https://doi.org/10.1016/j.jfds.2017.11.001>
- Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American economic review*, 98(2), 1-37.
- Sohag, K., Begum, R. A., Abdullah, S. M. S. y Jaafar, M. (2015). Dynamics of energy use, technological innovation, economic growth and trade openness in Malaysia. *Energy*, 90, 1497-1507. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.101>
- Stock, J. H. y Watson, M. W. (2001). Vector autoregressions. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 101-115. <https://doi.org/10.1257/jep.15.4.101>
- Tillman, J. A. (1975). The power of the Durbin-Watson test. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 959-974.
- Wang, Q., Zhang, F. y Li, R. (2023). Revisiting the environmental kuznets curve hypothesis in 208 counties: The roles of trade openness, human capital, renewable energy and natural resource rent. *Environmental Research*, 216, 114637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114637>
- Williams, M., Abu, A. y Aga, M. (2022). Ecological footprint, economic uncertainty and foreign direct investment in South Africa: evidence from asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL approach. *Sage Open*, 12(2). <https://doi.org/10.1177/21582440221094607>
- Yap, B. W. y Sim, C. H. (2011). Comparación de varios tipos de pruebas de normalidad. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141-2155. <https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163>
- Zhu, Y., Wang, Z., Yang, J. y Zhu, L. (2019). Does renewable energy technological innovation control China's air pollution? A spatial analysis. *Journal of Cleaner Production*, 119515. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119515>
- Zivot, E. y Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270. <https://doi.org/10.2307/1391541>