

Diagnóstico de las emisiones de CO₂ en Latinoamérica: caso Argentina, Brasil y México 1996-2018, un análisis a través de datos panel

CO₂ emissions diagnosis in Latin America: case of Argentina, Brazil and Mexico 1996-2018, a panel data analysis

<https://doi.org/10.33110/inceptum.v18i35.445>

(Recibido: 24/11/2023; Aceptado: 16/12/2023)

Enrique Guardado Ibarra¹

Carlos Méndez González²

Ariel Gutiérrez Ortiz³

Resumen

El incremento de las emisiones de CO₂ a través del tiempo ha cobrado relevancia en las agendas de los tomadores de decisiones de los principales países pertenecientes a América Latina debido a los efectos negativos que ha causado en el medio ambiente, economía y sociedad. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación consiste en diagnosticar el comportamiento de las emisiones de CO₂ en América Latina para el caso de Argentina, Brasil y México con respecto a variables económicas, comerciales, de investigación y desarrollo y medioambientales en el periodo 1996-2018. A través de modelos econométricos de datos panel se prueba la existencia de una relación de equilibrio largo plazo entre las variables. Mediante el estimador FMOLS se identifica que existe una relación negativa significativa de CER, I&D y M con respecto a CO₂, de igual manera existe una relación positiva significativa entre IED, PIBPC y X con CO₂.

Palabras clave: Emisiones de CO₂, América Latina, análisis de datos panel.

¹ Investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo: enrique.guardado@outlook.com

² Profesor-Investigador de la Universidad de Colima. Correo: cmendez6@ucol.mx

³ Profesor-Investigador de la Universidad de Colima. Correo: agutierrez18@ucol.mx

Abstract

The increase in CO₂ emissions over time has gained relevance on the agendas of decision makers in the main Latin American countries due to the negative effects it has caused on the environment, economy and society. Therefore, the objective of this research work is to diagnose the behavior of CO₂ emissions in Latin America in the case of Argentina, Brazil and Mexico with respect to economic, commercial, research and development and environmental variables in the period 1996-2018. Through panel data econometric models, the existence of a long-term equilibrium relationship between the variables is tested. Using the FMOLS estimator, it is identified that there is a significant negative relationship of CER, R&D and M with respect to CO₂, in the same way there is a significant positive relationship between FDI, GDPPC and X with CO₂.

Keywords: CO₂ emissions, Latin America, panel data analysis.

Introducción

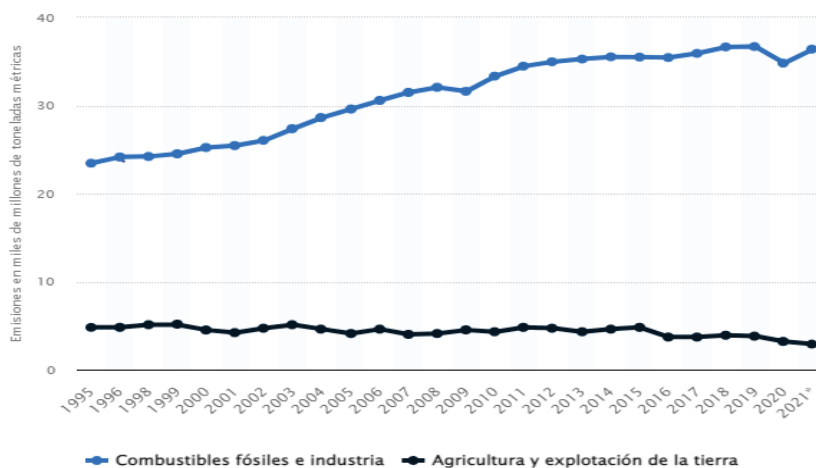
En los últimos años, el estudio de las causas y efectos de las emisiones de CO₂ ha cobrado relevancia en todo el mundo, al grado de ser un tema principal a tratar en las agendas de la mayoría de los países. Este interés radica fundamentalmente en que tales causas y efectos pueden ser analizadas desde dos enfoques distintos; tanto del enfoque económico como el enfoque medioambiental.

El enfoque económico considera las emisiones de CO₂ como la consecuencia lógica de las actividades industriales que, aunque contaminantes, crean valores añadidos, y por tanto son garantía de un fuerte crecimiento económico. Por otra parte, el enfoque medioambiental difiere a menudo del primero al considerar que el desarrollo sostenible no puede en ningún caso basarse en industrias contaminantes, siempre y cuando el crecimiento realizado se vea compensado por una pérdida de bienestar social (Issaoui, Toumi y Touili, 2015).

Las emisiones mundiales de dióxido de carbono relacionadas con la energía (gráfica 1) aumentaron un 6 % en 2021, llegando a alcanzar los 36 300 millones de toneladas, su nivel más alto de la historia (United Nations, 2022). En torno al aumento exponencial de las emisiones de CO₂, existen países (Gil-Alana et al., 2016) como los BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) cuyas tendencias de crecimiento están produciendo efectos a largo plazo sobre el cambio climático. De igual manera, pasa con los países pertenecientes al G7 (Estados Unidos, Reino Unido, Japón, Francia, Italia, Alemania y Canadá), cuyas emisiones de CO₂ están directamente relacionadas con su nivel de desarrollo, esto requiere, por lo tanto, un análisis centrado en las dinámicas y tendencias de largo plazo. Las emisiones de CO₂ en los países BRICS y G7 representan el 70% de las emisiones totales del mundo y tres cuartas partes de las emisiones de carbono acumuladas (International Energy Agency, 2021).



Gráfica 1 Emisiones mundiales de CO2 relacionadas con la energía (Miles de millones de toneladas métricas)

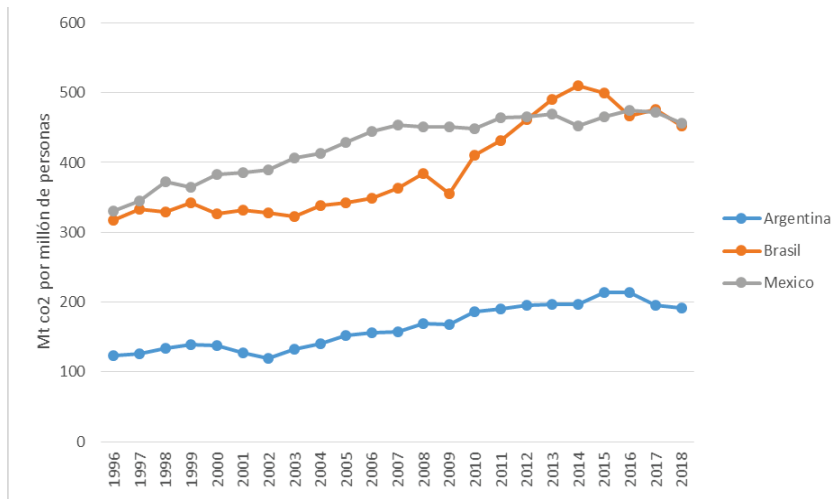


Fuente: Elaboración propia con datos de United Nations, 2022.

En cuanto a América Latina se refiere, es una de las regiones del mundo que más ha sido afectada por el cambio climático y fenómenos meteorológicos externos que están causando graves daños a la salud, la vida, los alimentos, el agua, la energía y el desarrollo socioeconómico, provocado, en gran parte, por el incremento en las emisiones de CO2 (Organización Meteorológica Mundial, 2021).

En los últimos años, Latinoamérica ha enfrentado importantes desafíos en términos de emisiones de CO2 y su impacto en el medio ambiente, especialmente en sus países más representativos (Banco Mundial, 2023) en términos de PIB como lo son México, Brasil y Argentina (BM, 2022) (gráfica 2). La creciente industrialización, urbanización y expansión agrícola de la región han provocado un aumento de las emisiones, lo que ha contribuido a las preocupaciones globales sobre el cambio climático. Los países latinoamericanos varían en sus contribuciones a las emisiones de CO2, y algunos son grandes emisores debido a factores como la producción de energía, la deforestación y el transporte Asturias-Schaub y Gil-Alana, 2023).

Gráfica 2 Emisiones de CO2 Brasil, México y Argentina (Mt co2 por millón de personas)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial, 2023.

De acuerdo a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el diagnóstico de las emisiones de CO2 en América Latina para el caso de Argentina, Brasil y México con respecto a variables económicas, comerciales, de investigación y desarrollo y medioambientales en el periodo 1996 -2018? De la pregunta se desprende el objetivo de la investigación el cual consiste en diagnosticar el comportamiento de las emisiones de CO2 en América Latina para el caso de Argentina, Brasil y México con respecto a variables económicas, comerciales, de investigación y desarrollo y medioambientales en el periodo 1996-2018. Para la obtención de resultados, la presente investigación aplica la metodología econométrica de datos panel, generando robustez a partir de pruebas de raíz unitaria, pruebas de cointegración a largo plazo, así como estimadores de Mínimos Cuadrados Completamente Modificados (FMOLS) y de causalidad. La hipótesis que se plantea es que, primeramente, exista una relación de largo plazo entre las emisiones de CO2 con el consumo de energías renovables (CER), PIB per Cápita (PIBPC), Investigación y desarrollo (I&D), Inversión Extranjera Directa (IED), exportaciones (X) e importaciones (M) de bienes y servicios. En segunda instancia, se espera que incremento de CER, de I&D y de M afecte de manera negativa al incremento de emisiones CO2, provocando una caída de este, por otro lado, un incremento de IED, X y PIBPC provoque de manera positiva un incremento en las emisiones de CO2.



Revisión empírica de literatura

Con el crecimiento de las economías petroleras junto con un auge demográfico esperado y una urbanización intensa, se prevé que el crecimiento económico sea sólido en el futuro, pero existe el posible aumento de las emisiones de CO₂ (Adom, Kwakwa, & Amankwaa, 2018). Sadorsky (2009) por ejemplo, ha analizado la relación existente del consumo de energías renovables y las emisiones de CO₂ para los países pertenecientes al G7 en los años 1980-2005 concluyendo que, el crecimiento económico y las emisiones de CO₂ son dos factores importantes que permiten un incremento en el desarrollo y consumo de energías en un largo plazo dependiendo de su comportamiento.

La Organización Mundial del Comercio (OMC), contribuye a la protección y preservación del medio ambiente mediante su objetivo de apertura del comercio, sus normas y su mecanismo de observancia, la labor realizada en diferentes órganos y sus esfuerzos constantes en el marco del Programa de Doha para el Desarrollo. El desarrollo sostenible y la protección y preservación del medio ambiente son objetivos fundamentales de la OMC, por lo que exhorta a sus miembros a que adopten, en el marco de las normas, medidas relacionadas con el comercio que tengan por objeto proteger el medio ambiente, evitando el proteccionismo (OMC, 2023).

El comercio internacional mejora las actividades económicas de un país, pero también suele generar contaminación dependiendo de la actividad comercial y de la escala en que se realice. Sin embargo, se pueden buscar alternativas que permitan generar un ambiente más limpio con un crecimiento de las actividades comerciales a través de estrictas regulaciones ambientales e innovaciones con menor impacto ambiental (Dinda, 2004).

Alam *et al.* (2016); Dogan y Seker (2016) y Nassani *et al.* (2017), encontraron una relación entre los ingresos per cápita y la contaminación ambiental, a través de la curva ambiental de Kuznets, la cual plantea una relación en forma de U invertida entre las variables mencionadas. Ciertos estudios consideraron a algunos países BRICS como Brasil, India y China. Cederborg y Snöbohm (2016) concluyen en su estudio que, existe una correlación positiva refiriéndose a que un incremento del PIB per Cápita conduce a un incremento de las emisiones de CO₂, el estudio se llevó a cabo para 69 países industrializados y en 45 países en desarrollo utilizando datos de corte transversal. Mencionan de igual manera que, incluso no existe ningún punto de inflexión en que las emisiones de CO₂ empiecen a disminuir cuando se alcanza un PIB suficientemente alto, como suelen mencionar algunas teorías.

La IED es una fuente de transferencia de tecnologías de los países desarrollados a los países en desarrollo, que podrían tener la capacidad de reducir los niveles de contaminación en el mundo (Opoku y Boachie, 2020). Sbia *et al.* (2014) presentan un análisis del impacto que tiene la IED en el consumo de energías al incorporar las “green energies” y la apertura comercial utilizando la demanda de energía en los Emiratos Árabes Unidos. Obtuvieron resultados en donde se muestra que la IED permite el ahorro de energía y que las “Green

energías” estimulan la demanda de energía, basado en un menor ritmo en comparación con el uso tecnologías y productos tradicionales.

La investigación y desarrollo que realizan las economías tanto a nivel público como a nivel privado juega un papel fundamental para el desarrollo de energías renovables las cuales permiten disminuir la contaminación y degradación que generan las emisiones de CO₂, Fisher-Vanden *et al.* (2004) analizan y determinan los elementos que impactan en los niveles de la intensidad energética para el caso de China, a través del análisis econométrico de datos panel en 2500 empresas industriales, concluyen que el desarrollo tecnológico es una determinante fundamental para disminuir la intensidad energética y por ende, las emisiones de CO₂ en dicho país.

Materiales y método

Metodológicamente para la presente investigación, se estará aplicando el análisis econométrico con el fin de analizar la posible relación que exista entre las variables tanto dependiente como independientes en el largo plazo, teniendo como fin brindar una mayor fiabilidad cuantitativa a la evidencia empírica. Para esto, dada la naturaleza de la investigación y de los datos, se aplicará el análisis econométrico de panel de datos con sus respectivas pruebas. Esta técnica econométrica se centra básicamente en la capacidad de poder manipular de manera simultánea distintos periodos de tiempo, así como sus efectos de manera individual tratando el problema de endogeneidad (Hubler, 2005).

El presente estudio contempla el uso de datos anuales desde 1996 al 2018 para los países de México, Brasil y Argentina pertenecientes a la región de Latinoamérica. El periodo de tiempo seleccionado se basa en la disponibilidad que existen de los datos. Las variables que se plantean son:

- ***Emisiones de CO₂ per cápita (CO₂)***: Medido por el consumo de energía en MtCO₂ por millón de personas.
- ***Consumo de energías renovables (CER)***: Medidas a través del consumo de energías renovables como porcentaje del total del consumo de energía.
- ***PIB per cápita (PIBPC)***: en dólares constantes año 2005.
- ***Investigación y desarrollo (I&D)***: Medido en gasto como porcentaje del PIB.
- ***Inversión extranjera directa (IED)***: Medida en entradas netas como porcentaje de PIB.
- ***Exportaciones de bienes y servicios (X)***: Medido como porcentaje del PIB.
- ***Importaciones de bienes y servicios (M)***: Medido como porcentaje del PIB.

Todas las variables se expresan en logaritmos naturales para su fácil interpretación. Los datos anuales de las variables tienen como fuente el World Development Indicator del BM (2022).



Resultados y discusión

Se presenta a continuación, a partir de la siguiente ecuación, la especificación del modelo econométrico:

$$CO2_{it} = \beta_0 i_t + \beta_1 i_t CER_{it} + \beta_2 i_t I\&D_{it} + \beta_3 i_t IED_{it} + \beta_4 i_t PIBPC_{it} + \beta_5 i_t X_{it} + \beta_6 i_t M_{it} + e_{it}$$

Donde i indica el corte transversal haciendo referencia a los países, t hace referencia al periodo de tiempo que se tiene establecido, y e_{it} hace referencia al término de error. Se establecen los parámetros β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 y β_6 los cuales hacen referencia a la elasticidad que existe en el largo plazo para las variables presentadas en el modelo, esperando por lo tanto el siguiente comportamiento:

- $\beta_1 < 0$ ya que un incremento del consumo de energías renovables genera una caída en las emisiones de CO2.
- $\beta_2 < 0$ ya que un incremento en la investigación y desarrollo genera una caída en las emisiones de CO2.
- $\beta_3 > 0$ ya que un incremento en la inversión extranjera directa genera un incremento en las emisiones de CO2.
- $\beta_4 > 0$ ya que un incremento del PIB per cápita genera un incremento en las emisiones de CO2.
- $\beta_5 < 0$ ya que un incremento de las importaciones de bienes y servicios genera una caída en las emisiones de CO2.
- $\beta_6 > 0$ ya que un incremento de las exportaciones de bienes y servicios genera un incremento en las emisiones de CO2.

A continuación, se muestran las pruebas realizadas para el modelo planteado:

Aplicación de pruebas de raíz unitaria para datos de panel

Uno de los fundamentos para el estudio de cointegración en datos panel a largo plazo, es la aplicación y validación de la existencia de raíz unitaria en la serie de datos, esta prueba tiene la característica de analizar como los datos evolucionan a través del tiempo y como pueden causar problemas de inferencia estadística en modelos de series de tiempo. Para el presente estudio, se aplicarán pruebas de raíz unitaria de primera generación denominada prueba de raíz unitaria de sección cruzada Im, Pesaran y Shin (IPS) (2003) la cual tiene como base el procedimiento de la prueba de Dickey-Fuller para raíces unitarias.

- Prueba de raíz unitaria Im, Pesaran and Shin

Tabla 1 Prueba de raíz unitaria de sección cruzada Im, Pesaran y Shin (IPS)

<i>Variable</i>	<i>Parámetros determinísticos</i>	<i>IPS</i>
<i>CER</i>	CT	0.8492
<i>CO2</i>	CT	0.7024
<i>I_D</i>	CT	0.8344
<i>IED</i>	CT	0.003***
<i>PIBPC</i>	CT	0.5309
<i>X</i>	CT	0.8523
<i>M</i>	CT	0.8714
<i>CER (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***
<i>CO2 (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***
<i>I_D (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***
<i>IED (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***
<i>PIBPC (Primeras diferencias)</i>	C	0.002***
<i>X (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***
<i>M (Primeras diferencias)</i>	C	0.000***

*Nota: *** denota un rechazo de la hipótesis nula al 1% en los niveles, C denota la constante.*

Fuente: Elaboración propia.

En el modelo se confirma que las variables están integradas en orden uno. Todas las variables tienen raíz unitaria en los niveles, excepto la variable IED. Se destaca que todas las variables son estacionarias en primeras diferencias con 1% de significancia.

Posterior a aplicar la prueba de raíz unitaria y validarla, se analiza si existe una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables del mismo orden mediante la aplicación de pruebas de cointegración en el modelo.



Pruebas de cointegración para panel de datos

La cointegración fue propuesta por primera vez por Granger (1981) con el fin de resolver el problema de la correlación espuria. Uno de los métodos más conocidos es el método de Engle-Granger y el método de cointegración de Johansen.

- Prueba de cointegración de Kao

A continuación, se presentan las pruebas de cointegración para el modelo:

Tabla 2 Resultados de la prueba de cointegración de Kao

<i>Prueba</i>	<i>t-Statistic</i>
ADF	-2.971 ***
Valor - <i>p</i>	(0.001)

*Nota: *** denota rechazo de la hipótesis nula al 1% en sus niveles.*

En la presente prueba de cointegración de Kao (1999), la hipótesis nula de no cointegración se rechaza a un nivel de significancia del 1%, por lo tanto, se acepta que existe una relación de largo plazo entre las variables del primer modelo.

- Prueba de cointegración de Fisher-Johansen:

Tabla 3 Resultados de la prueba de cointegración Fisher-Johansen

<i>Hipótesis nula</i>	<i>Prueba de Trace</i>	<i>Prueba de Max - Eigen</i>
R = 0	59.4***	59.4 ***
R ≥ 1	317.9***	171.8***
R ≥ 2	189.5***	96.3***
R ≥ 3	114.9***	66.2***
R ≥ 4	61.9***	36.6***
R ≥ 5	37.5***	25.7**
R ≥ 6	32.75***	32.7***

Nota: *** y ** denota un rechazo de la hipótesis nula al 1% y 5% en los niveles, respectivamente.

La prueba de cointegración de Fisher-Johansen (1991) indica que todas las variables están cointegradas con un rechazo de la hipótesis nula de no cointegración del 1% y 5% ($R \geq 5$ Max – Eigen) de significancia, lo que confirma que existe una relación de largo plazo entre las variables.

Dentro de la literatura del análisis econométrico se identifica que, cuando las variables están cointegradas, la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) para estimar los coeficientes de los modelos de datos panel resulta sesgado y, por lo tanto, produce estimaciones inconsistentes (Pedroni, 2001).

Debido a lo anterior, distintos métodos se han desarrollado con la finalidad de estimar las relaciones de cointegración a través del uso de datos panel, un ejemplo de estos métodos es el estimador de mínimos cuadrados ordinarios totalmente modificados (FMOLS). Dichas aproximaciones, de acuerdo con Pedroni (2001), van a producir estimadores de coeficientes que son asintóticamente imparcial y normalmente distribuida.

Una de las principales características de los estimadores FMOLS es que estos tienen relativamente un buen comportamiento en pequeñas muestras, así mismo permite controlar la endogeneidad de sus regresores y la correlación serial por lo que esto genera estimaciones consistentes.



Una de las características fundamentales del uso del estimador FMOLS, de acuerdo con Pedroni (2001), recae en que, además de su habilidad para contemplar la heterogeneidad entre las unidades del panel, tiene la capacidad para controlar el sesgo inducido por la potencial endogeneidad de los regresores y la correlación serial, así como la heterocedasticidad de los residuos.

Prueba de estimadores FMOLS

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación del estimador FMOLS:

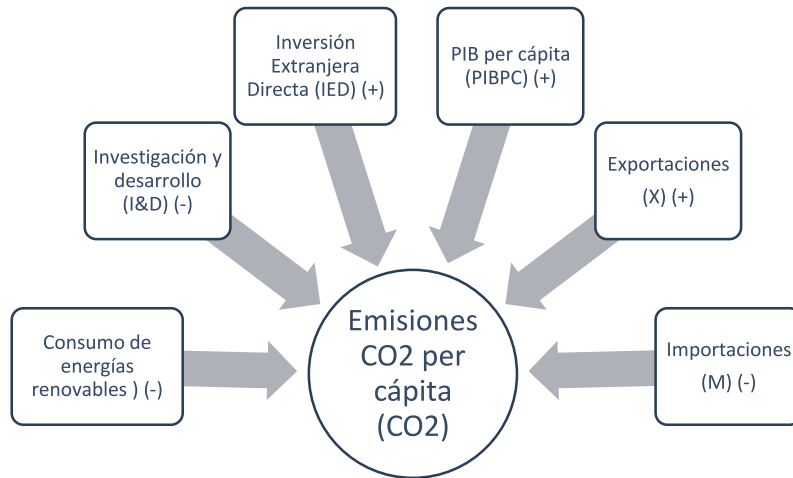
Tabla 4 Estimación de largo plazo de los coeficientes con respecto a CO2

<i>Variable</i>	<i>Coefficientes FMOLS</i>	<i>Valor - p</i>
CER	-217.84 ***	0.000
I_D	-2180.48 ***	0.000
IED	29.995 ***	0.000
PIBPC	0.068 ***	0.000
X	4.606 ***	0.000
M	-55.839 ***	0.000

Nota: *** denota rechazo de la hipótesis nula al 1% en sus niveles, respectivamente.

Los resultados obtenidos en la tabla anterior en la prueba de cointegración a través del estimador FMOLS, con una especificación de tendencia en niveles, con tendencia adicional cuadrática de los regresores y aplicando una estimación ponderada en el método de panel, demuestran que todas las variables son significativas al 1%. De igual manera, a través de los coeficientes, se puede interpretar el comportamiento de los signos, lo cual resulta de suma importancia para entender el comportamiento de las variables.

Figura 1 Análisis de resultados de los estimadores FMOLS en las variables



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos en la prueba de estimadores.

A partir del comportamiento de los signos, podemos determinar entonces, como se muestra en la figura anterior, que un incremento de CER, de I&D y de M afecta de manera negativa a CO₂, provocando una caída de este, por otro lado, un incremento de IED, X y PIBPC provoca de manera positiva un incremento en CO₂.

Para tratar el problema de heterogeneidad en las unidades de corte transversal dentro del análisis de datos panel, Dumitrescu y Hurlin (2012) postulan un método para analizar la causalidad en este tipo de modelos. La hipótesis nula de no causalidad homogénea se plantea con respecto a la hipótesis alternativa la cual cuenta con dos subgrupos, uno donde existe una relación causal entre dos variables y el segundo en donde no existe una relación causal entre las variables.

El presente análisis de causalidad se plantea a continuación:



Tabla 5 Resultados de la prueba de causalidad heterogénea Hurlin-Dumitrescu

<i>Hipótesis nula</i>	<i>Prueba wald</i>	<i>Prob</i>	<i>Decisión</i>
CER no causa homogéneamente a CO ₂	6.537***	0.000	Rechazo
CO ₂ no causa homogéneamente a CER	2.990***	0.008	Rechazo
I & D no causa homogéneamente a CO ₂	2.835**	0.015	Rechazo
Co ₂ no causa homogéneamente a I&D	3.391***	0.001	Rechazo
IED no causa homogéneamente a CO ₂	1.164	0.947	Acepta
Co ₂ no causa homogéneamente a IED	0.963	0.827	Acepta
PIB no causa homogéneamente a CER	1.409	0.517	Acepta
CER no causa homogéneamente a PIB	1.882	0.098	Acepta
I&D no causa homogéneamente a CO ₂	2.722***	0.000	Rechazo
CO ₂ no causa homogéneamente a I&D	3.988***	0.000	Rechazo
IED no causa homogéneamente a CO ₂	1.948	0.072	Acepta
CO ₂ no causa homogéneamente a IED	1.280	0.709	Acepta
PIB PC no causa homogéneamente a CO ₂	3.412***	0.001	Rechazo
Co ₂ no causa homogéneamente a PIBPC	6.345***	0.000	Rechazo
X no causa homogéneamente a CO ₂	6.093***	0.000	Rechazo
Co ₂ no causa homogéneamente a X	1.938	0.245	Acepta
M no causa homogéneamente a CO ₂	5.013***	0.000	Rechazo
CO ₂ no causa homogéneamente a M	1.245	0.856	Acepta
ID no causa homogéneamente a CER	0.717	0.571	Acepta
CER no causa homogéneamente a ID	2.679	0.027	Acepta

IED no causa homogeneamente a CER	0.501	0.383	Acepta
CER no causa homogeneamente a IED	0.664	0.521	Acepta
PIBPC no causa homogeneamente a CER	3.446***	0.001	Rechazo
CER no causa homogeneamente a PIBPC	11.350***	0.000	Rechazo
X no causa homogeneamente a CER	5.248***	0.000	Rechazo
CER no causa homogeneamente a X	2.690**	0.026	Rechazo
M no causa homogeneamente a CER	6.654***	0.000	Rechazo
CER no causa homogeneamente a M	0.795	0.649	Acepta
IED no causa homogeneamente a ID	2.446**	0.060	Rechazo
ID no causa homogeneamente a IED	1.421	0.667	Acepto
PIBPC no causa homogeneamente a ID	5.962***	0.000	Rechazo
ID no causa homogeneamente a PIBPC	6.020***	0.000	Rechazo
X no causa homogeneamente a ID	5.826***	0.000	Rechazo
ID no causa homogeneamente a X	2.619**	0.033	Rechazo
M no causa homogeneamente a ID	6.232***	0.000	Rechazo
ID no causa homogeneamente a M	2.207	1.123	Acepto
PIBPC no causa homogeneamente a IED	1.590	0.503	Acepta
IED no causa homogeneamente a PIBPC	2.072	0.176	Acepta
X no causa homogeneamente a IED	1.625	0.472	Acepta
IED no causa homogeneamente a X	1.079	0.957	Acepta
M no causa homogeneamente a IED	1.339	0.753	Acepta
IED no causa homogeneamente a M	1.640	0.459	Acepta



X no causa homogéneamente a PIBPC	10.906***	0.000	Rechazo
PIBPC no causa homogéneamente a X	2.491**	0.050	Rechazo
M no causa homogéneamente a PIBPC	10.033***	0.000	Rechazo
PIBPC no causa homogéneamente a M	1.616	0.480	Acepta
M no causa homogéneamente a X	2.028	0.197	Acepta
X no causa homogéneamente a M	1.436	0.651	Acepta

Nota: *** y ** denotan rechazo de la hipótesis nula al 1% y 5% en sus niveles, respectivamente

La prueba de causalidad aplicada en la tabla anterior demuestra que existe una relación de causalidad bidireccional entre CER y CO₂, I&D y CO₂, PIBPC y CO₂, PIBPC y CER, X y CER, PIBPC y I&D, X y I&D y X y PIBPC. De igual manera, existe una relación unidireccional entre X y CO₂, M y CO₂, M y CER, IED y I&D, M y I&D y M y PIBPC

Conclusiones

Los problemas medioambientales y económicos derivados del incremento en las emisiones de CO₂ a través del tiempo en Latinoamérica, principalmente en los países de Brasil, México y Argentina, no han sido un tema de menor importancia para los tomadores de decisiones y líderes políticos de estos países. Actualmente contemplan en sus agendas de desarrollo la búsqueda de medidas y alternativas que le permitan la reducción de estas emisiones para obtener beneficios que mejoren la calidad de vida de sus habitantes.

Los resultados empíricos obtenidos de la presente investigación identifican que existe una relación de largo plazo para todas las variables. Se identifica de igual manera que un incremento en el consumo de energías renovables, de investigación y desarrollo y de las importaciones de bienes y servicios tienen un efecto negativo significativo en el incremento de las emisiones de CO₂, mientras que un incremento del PIB per cápita, de inversión extranjera directa y de las exportaciones de bienes y servicios tienen un efecto positivo significativo en el incremento de las emisiones de CO₂, por lo que las implicaciones de política pública en materia de transición energética son pertinentes y consistentes para los tres países estudiados.

Con base en los resultados de esta investigación, se espera que las políticas públicas de estos países redireccionen sus objetivos y metas a variables clave que inciden o se asocian directamente con el fenómeno de estudio, principalmente en aquellas variables que tienen mayor incidencia en las emisiones de CO₂ y que favorecen al desarrollo económico y cuidado medioambiental de los países estudiados de la región de América Latina.

Referencias

- Adom, P., Kwakwa, P. y Amankwaa, A. (2018). The long-run effects of economic, demographic, and political indices on actual and potential CO2 emissions. *Journal of Environmental Management*, 516-526.
- Alam, M., Muradb, M., Nomanc, A. y Ozturk, I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 466-479.
- Asturias-Schaub, L. y Gil-Alana, L. (2023). CO2 emissions in Latin America: a time series perspective based on fractional integration. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 109585–109605 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29987-4>
- Banco Mundial (BM). (2022). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Banco Mundial (BM). (2022). PIB (US\$ a precios actuales) – Latin America & Caribbean. [https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?locations=ZJ&most recent value desc=true](https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?locations=ZJ&most%20recent%20value%20desc=true)
- Banco Mundial (BM). (2023). Indicadores. obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador?tab=all>
- Cederborg, J. y Snöbohm, S. (2016). Is there a relationship between economic growth and carbon dioxide emissions? *Södertörns University*.
- Dogan, E., y Seker, F. (2016). The influence of real output, renewable and nonrenewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1074-1085.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 431-455.
- Dumitrescu, E-I. y Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modeling*, 29(4). <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H. y Tao, Q. (2004). What is driving China's decline in energy intensity? *Resource and Energy Economics*, 26(1). <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.07.002>.
- Gil-Alana, L., Cunado, J. y Gupta, R. (2016) Persistence, mean-reversion and non-linearities in CO2 emissions: evidence from the BRICS and G7 countries. *Environ Resource Econ*, 67(4):869–883. <https://doi.org/10.1007/S10640-016-0009-3>
- Granger, C. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification, *Journal of Econometrics*, 16, 121-30
- Hubler, O. (2005). Panel data econometrics: Modelling and estimation. Diskussionspapiere des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften, Universität Hannover, No. 319.



- Im, K., Pesaran, M. y SHIN, Y. Testing for unit root in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, v. 115, 2003. p. 53-74.
- International Energy Agency (IEA). (2021). Global Energy Review 2021, CO₂ emissions. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>
- Issaoui, F., Toumi, H., y Touili, W. (2015). The effects of carbon dioxide emissions on economic growth, urbanization and welfare: application to countries in the Middle East and North Africa *The Journal of Energy and Development*, 41(1/2), 223–252. <http://www.jstor.org/stable/90005938>
- Johansen, S. (1991), *Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models*, Econometrica.
- Kao, C. (1999). Spurious Regression and Residual Based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Econometrics*, 90(1). [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Nassani, A., Aldakhil, A., Abro, M. y Zaman, K. (2017). Environmental Kuznets curve among BRICS countries: spot lightening finance, transport, energy and growth factors. *Journal of Cleaner Production*, 474-487.
- Opoku, E., y Boachie, M. (2020). The environmental impact of industrialization and foreign direct investment. *Energy Policy*, 1-12.
- Organización Mundial de Comercio (OMC). (2023). Comercio y medio ambiente. https://www.wto.org/spanish/tratop_s/envir_s/envir_s.htm#:~:text=La%20OMC%20contribuye%20a%20la,de%20Doha%20para%20el%20Desarrollo.
- Pedroni, P. (2001). Purchasing Power Parity Tests In Cointegrated Panels. *The Review of Economics and Statistics*. 83, 727-731.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, co₂ emissions and oil prices in the g7 countries. *Energy Economics*, 31(3). <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Sbia, R., Shahbaz, M. y Hamdi, H. (2014). A contribution of foreign direct investment, clean energy, trade openness, carbon emissions and economic growth to energy demand in UAE. *Economic Modelling*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.09.047>
- United Nations (2022). Las emisiones mundiales de CO₂ repuntaron en 2021 hasta su nivel más alto de la historia. <https://unfccc.int/es/news/las-emisiones-mundiales-de-co2-repuntaron-en-2021-hasta-su-nivel-mas-alto-de-la-historia#:~:text=Las%20emisiones%20mundiales%20de%20di%C3%B3xido,del%20carb%C3%B3n%20para%20impulsar%20ese>
- World Meteorological Organization (WMO). (2021) State of the climate in Latin America and the Caribbean 2021. <https://library.wmo.int/records/item/58014-state-of-the-climate-in-latin-america-and-the-caribbean-2021>

