

Crecimiento económico, competitividad y tecnología y su incidencia en el deterioro ambiental. Un estudio econométrico para América Latina

Economic growth, competitiveness and technology and their impact on environmental degradation. An econometric study for Latin America

Daniela Valenzuela-Carreño¹
César Lenin Navarro-Chávez²

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los factores determinantes de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en los países de América Latina, durante el periodo 1990-2019. Se realiza un especial énfasis en el crecimiento económico, la competitividad y el cambio tecnológico para revisar su incidencia en el deterioro ambiental. El propósito central es identificar si estas variables contribuyen con la sostenibilidad ambiental, o, por el contrario, si intensifican las emisiones de CO₂.

La metodología instrumentada se basa en técnicas de datos de panel de segunda generación, considerando que existe dependencia transversal en las secciones cruzadas. Las pruebas previas al proceso de estimación incluyen la estacionariedad (prueba de raíz unitaria) y la cointegración. Los resultados muestran que las variables son estacionarias en su primera diferencia, y se relacionan en el largo plazo. Se estimó el modelo *Pooled Mean Group* (PMG) propuesto por Pesaran *et al.*, (1999), lo que permite tener coeficientes de corto y largo plazo, así como un mecanismo de velocidad de ajuste (corrección de error).

Dentro de los resultados observados se encuentra que, en el corto plazo, el PIB y la competitividad son los principales emisores de CO₂, mientras que, el cambio tecnológico reduce estas emisiones. En el largo plazo, la tecnología es la variable que tiene mayor incidencia sobre la variable dependiente (reduce las emisiones de CO₂). Mientras que, la competitividad y el PIB, si bien aumentan las emisiones de CO₂ su elasticidad es menor respecto al corto plazo.

Palabras clave: Crecimiento económico, competitividad, cambio tecnológico, emisiones de CO₂, datos panel PMG, América Latina

Clasificación JEL: C33, F43, O33, Q53, Q56

¹ Maestra en Políticas Públicas, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, [daniela.valenzuela@umich.mx] [ORCID: 0009-0001-1435-8236].

² Doctor en Ciencias con Especialidad en Ciencias Administrativas. Profesor investigador, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, [cesar.navarro@umich.mx] [ORCID: 0000-0002-4465-8117].

Abstract

This paper analyzes the determinants of carbon dioxide (CO₂) emissions in Latin American countries over the period 1990–2019, with particular emphasis on the impact of economic growth, competitiveness, and technological change in environmental degradation. The central aim is to assess whether these factors contribute to environmental sustainability or, conversely, intensify CO₂ emissions. The empirical strategy relies on second-generation panel data techniques, acknowledging the presence of cross-sectional dependence among countries. Preliminary tests for stationarity and cointegration indicate that the variables are stationary in first differences and share a long-run relationship. The Pooled Mean Group (PMG) estimator proposed by Pesaran *et al.*, (1999) is employed, allowing the identification of both short- and long-run coefficients, as well as the speed of adjustment through the error-correction mechanism. The evidence suggests that, in the short run, GDP and competitiveness are the main drivers of CO₂ emissions, whereas technological change helps reduce them. In the long run, technological progress exerts the strongest mitigating effect on emissions, while GDP and competitiveness continue to increase CO₂ emissions, though with lower elasticities compared with the short-run effects.

Keywords: Economic growth, competitiveness, technological change, CO₂ emissions, PMG panel data, Latin America

JEL Classification: C33, F43, O33, Q53, Q56

1. Introducción

La ciencia económica clásica y neoclásica tienen como principal objetivo determinar los factores que inciden en el crecimiento de las economías, distintos aportes pusieron de manifiesto la importancia de los factores de la producción como el trabajo y el capital (Cobb y Douglas, 1928). Más adelante, los teóricos determinaron que sería el cambio tecnológico el que incentivaría el avance de las economías en el largo plazo, ya sea desde una perspectiva exógena (Solow, 1956; Swan, 1956), o con elementos endógenos como el desarrollo del capital humano, las innovaciones e inclusive, la eficiencia del sector público (Lucas, 1988; Rebelo, 1991; Romer, 1986).

Los aportes teóricos antes mencionados, no consideran elementos asociados con el deterioro ambiental. Actualmente, el planeta tiene tres crisis: la climática, por contaminación de residuos y la pérdida de biodiversidad (Yaniz, 2024). De ahí la importancia de identificar el papel del avance económico en relación con el rezago ambiental.

El objetivo del presente trabajo es identificar los efectos del avance económico sobre el desempeño ambiental, particularmente de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Se instrumenta para esto, un modelo econométrico de datos panel de segunda generación, a través del estimador Pooled Mean Group (PMG) (Pesaran *et al.*, 1999). Se identificará el papel del crecimiento económico, la competitividad y el cambio tecnológico en el crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono para catorce economías latinoamericanas durante el periodo 1990-2019.

La hipótesis a comprobar es que el crecimiento económico -medido a través del Producto Interno Bruto (PIB)- y la competitividad inciden de manera directa en las emisiones de dióxido de carbono, mientras

que, el cambio tecnológico es un factor que puede revertir los procesos contaminantes, por lo que, esta variable tendría una relación inversa con el deterioro ambiental.

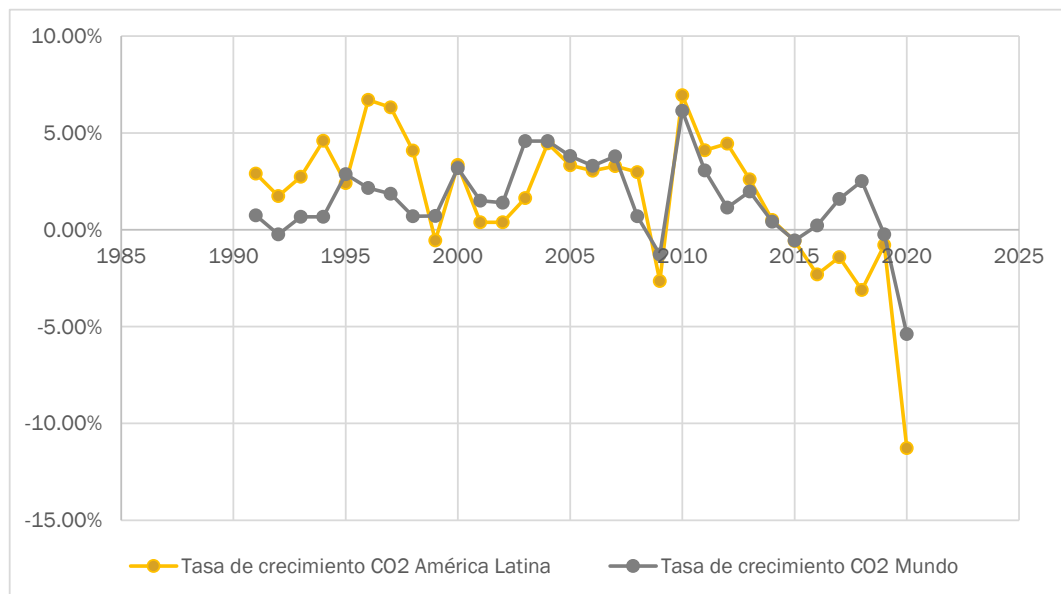
En el trabajo considera en primera instancia la introducción. En el segundo apartado, se aborda la evidencia empírica en materia de deterioro ambiental. En el tercero, se tienen los referentes teóricos asociados con el crecimiento económico, la competitividad, el cambio tecnológico y su vinculación con el deterioro ambiental. En el cuarto, se presentan los aspectos metodológicos, orientados éstos hacia el modelo econométrico a instrumentar. En el quinto apartado, se encuentran los resultados. Y, finalmente, se exponen las principales conclusiones del trabajo.

2. Deterioro ambiental. Evidencia empírica

La evidencia empírica muestra que el deterioro ambiental medido a través de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂³, fue mayor en América Latina en comparación con el mundo. Durante el periodo 1990-2020, a nivel mundial se tuvo una tasa de crecimiento del 1.55%, mientras que, en la región latinoamericana esta tasa se situó en el 1.68% (ver figura 1).

Figura 1.

Tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂ en América Latina y el mundo 1990-2020.



Fuente: Elaboración propia con base en el Banco Mundial (2024).

La región latinoamericana cuenta con un alto grado de contaminación que se traduce en deterioro ambiental por algunos elementos estructurales que López y Figueroa (2016), identifican como fallos en la

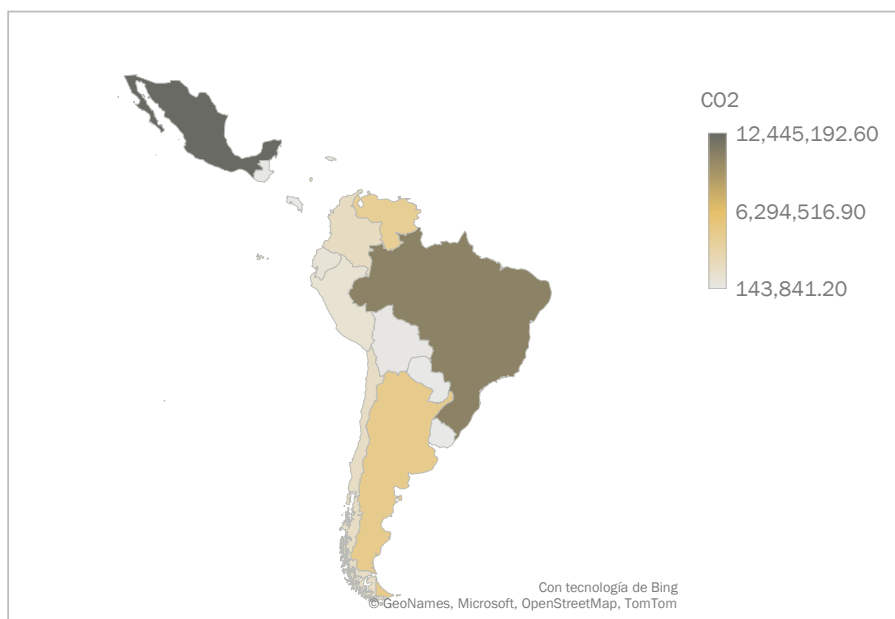
³ Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), son aquellas que provienen de la quema de fósiles, consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como la quema de gas (Banco Mundial, 2024).

política fiscal, lo cual incide directamente en una falta de crecimiento sostenible en los países latinoamericanos. Para estos autores, existen limitantes desde el mercado crediticio que incentiven la creación de empresas que sean ambientalmente sostenibles. Otro elemento, es la expansión de industrias intensivas en mano de obra. Y, por último, un sistema tributario que incentiva la inversión en empresas tradicionales, las cuales tienen la característica de ser ambientalmente contaminantes.

En un análisis más particular, es posible visualizar el desempeño de las economías latinoamericanas por lo que se refiere a las emisiones de CO₂. En la figura 2, se tienen los datos acumulados de estas emisiones durante el periodo 1990-2019. México lidera la lista, el segundo lugar fue para Brasil con más de diez millones de kilotoneladas (kt), seguido de Argentina con una aportación de 4.5 millones de kt.

Figura 2.

Total, de emisiones de CO₂, expresado en kilotoneladas para catorce economías latinoamericanas, 1990-2020.

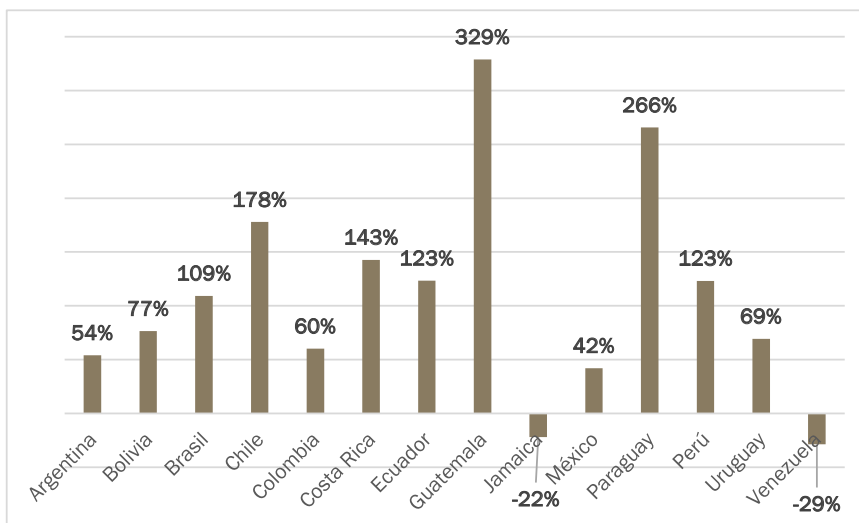


Fuente: Elaboración propia con base en el Banco Mundial (2024).

A través de la tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂, es posible observar el comportamiento de algunas economías que, en términos absolutos no representan un gran avance en comparación con países más desarrollados, tienen tasas de emisiones superiores, es el caso de Guatemala con un aumento del 329%, Paraguay con 266%, Chile con el 178%. Se tienen excepciones con tasas negativas como es el caso de Jamaica y Venezuela (véase figura 3).

Figura 3.

Tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂ en catorce economías latinoamericanas, 1990-2020.



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

3. Referentes teóricos

Los referentes teóricos que se consideran aquí, se orientan en tres direcciones. La primera, crecimiento económico y emisiones de CO₂. La segunda, competitividad y emisiones de CO₂. Y, la tercera, cambio tecnológico y emisiones de CO₂.

3.1. Crecimiento económico y emisiones de CO₂

El primer grupo de referentes teóricos que se consideran en la presente investigación son los trabajos que asocian directamente al crecimiento económico con el deterioro ambiental, si bien desde los aportes de Cobb y Douglas (1928) se vislumbraba la importancia de contar con indicadores que integraran al factor tierra en la función de producción, sería hasta el análisis de Kuznets (1955) donde indirectamente se asociarían con elementos medio ambientales.

En su propuesta Kuznets (1955), identifica la relación entre el crecimiento económico y la desigualdad de los países; el autor explica que, en el largo plazo existe un largo péndulo (*long swing*), esto es, una fase inicial donde la desigualdad tiende a incrementar, y una vez que la economía se logra desarrollar, estaría la fase de estabilización, donde la desigualdad tiende a la disminución y es acompañada por una expansión económica.

Durante la década de los noventa, se presentaron otros trabajos que retomaban el aporte de Kuznets (1955) para variables ambientales. El trabajo de Panayotou (1993), y posteriormente el de Grossman y Krueger (1995), se centraron en la formulación y constatación empírica del crecimiento económico y el deterioro ambiental, donde afirman que estas variables tienen un comportamiento en forma de U invertida. Esto hace

referencia a que a medida que los países incrementan su riqueza tendrán acceso a mayor tecnología, y políticas económicas que lleven a la protección ambiental.

Stern (2004) realiza una crítica a la curva de Kuznets ambiental (EKC) por sus fallas econométricas y su fragilidad empírica, para el autor existe un sesgo, ya que hay variables que no están siendo consideradas. El aporte de Stern (2004), consiste en encontrar aquellos factores temporales y tecnológicos que modifiquen el efecto bruto del crecimiento económico sobre la contaminación.

3.2. Competitividad y emisiones de CO_2

En el segundo grupo, se analizan aquellos referentes teóricos que estudian la relación entre la competitividad y el deterioro ambiental. Porter y Linde (1995) reconocen que, bajo la visión tradicional, la competitividad y los objetivos ambientales eran mutuamente excluyentes. Por ello, los autores plantean un nuevo paradigma que se aleja de los modelos estáticos donde las regulaciones ambientales se traducen en aumento de costos. Desde su enfoque, las regulaciones pueden, por el contrario, incentivar la innovación, mejorar la eficiencia productiva y fortalecer las capacidades tecnológicas de las empresas. Es decir, lejos de debilitar la competitividad en los mercados mundiales, se fortalecerían las ventajas competitivas de las empresas al tener regulaciones que estimulen la innovación.

Porter y Linde (1995) argumentan que existe un paradigma dinámico, de manera que las normas ambientales que son diseñadas de manera correcta puedan impulsar la innovación en las empresas, a este concepto lo denominan “compensaciones de innovación” y sugieren que, esto impulsaría un incentivo en los procesos y productos, mejorando la productividad de los recursos, por tanto, daría una ventaja competitiva, todo ello, a partir de un entorno que fomente la innovación ambiental.

Esty y Porter (2002), examinan las causas del desempeño ambiental, basándose en datos estadísticos de alrededor de setenta países, la pregunta central del trabajo radica en analizar si es que el desempeño ambiental debe ocurrir a expensas de la competitividad y el desarrollo económico, como la literatura económica tradicional sugería. El resultado al que llegan Esty y Porter (2002) es que, un desempeño ambiental sólido, se encuentra correlacionado de manera positiva con la competitividad, no obstante, no se trata de una relación simple, sino que, debe de ir acompañado de estructuras institucionales y un sistema regulatorio sólido para que el progreso ambiental pueda lograrse sin sacrificar la competitividad “hipótesis de Porter⁴”.

3.3. Cambio tecnológico y emisiones de CO_2

El cambio tecnológico resulta un elemento fundamental para la ciencia económica, así como para el deterioro ambiental, para el caso del presente trabajo es posible identificar que, desde distintas perspectivas y aportes teóricos, esta variable será fundamental para lograr un crecimiento económico sostenible.

Considerando desde el enfoque de la economía del crecimiento, los aportes teóricos basados en la importancia del cambio tecnológico, ya sea desde una perspectiva exógena, o bien, desde una endógena, se rescata la idea principal donde la capacidad de innovación posibilitará una disminución en el deterioro ambiental.

Los modelos de crecimiento exógenos asumen que, una vez llegado al estado estacionario, la aportación del factor capital no generaría crecimiento en la producción en términos marginales (Weil, 2006).

4 Suposición que afirma que la regulación ambiental puede incentivar la innovación y competitividad empresarial, ya que las empresas se verán impulsadas a invertir en procesos con menor deterioro ambiental (Porter y Linde, 1995).

Bajo esta perspectiva se encuentran los trabajos de Solow (1974), donde refiere que la sostenibilidad será posible, a pesar de que los recursos naturales sean finitos, si existe una elasticidad de sustitución, esto es, si existe tecnología que sustituya a los factores trabajo y capital.

El trabajo de Stokey (1998), es un modelo de crecimiento, donde el cambio tecnológico (exógeno) podría lograr un crecimiento sostenido, ya que a medida que el capital crece, la sociedad impone estándares más estrictos, incentivando de esta manera una tasa de rendimiento en el capital que propicie la acumulación. En su modelo, Brock y Taylor (2004), demuestran que las emisiones pueden ser disminuidas ante mayores inversiones, bajo políticas ambientales más estrictas.

En la clasificación de los modelos de crecimiento endógenos, se encuentran los aportes de Lans y Smulders (1995), donde se demuestra la compleja interacción entre el medio ambiente, la tecnología y el crecimiento económico, donde la única manera que la innovación conduzca al crecimiento sostenible será, a partir de intervenciones públicas para lograr que disminuya la contaminación. Para Xepapadeas (1997), el crecimiento económico es posible en un contexto de protección del medio ambiente, donde se requiere inversión estratégica en conocimiento de abatimiento en deterioro ambiental.

Grimaud y Rougé (2003), tomando como base el concepto de destrucción creativa⁵, propuesto por Schumpeter (1950), proponen un modelo de crecimiento endógeno, donde el índice de innovación tiene un papel fundamental para el crecimiento en el largo plazo, permitiendo así, sustituir el problema de los recursos naturales no renovables. Por último, Bretschger (2005), considera que las innovaciones tecnológicas son indispensables para superar el problema de la limitación de recursos naturales, teniendo así, sostenibilidad.

4. Aspectos metodológicos

Considerar diferentes unidades económicas, en este caso, catorce economías latinoamericanas en veintinueve años de estudio, permite aplicar técnicas econométricas asociadas a los paneles de datos, esto es, la combinación de datos transversales con series de tiempo. Para Moral y Pérez (2018), algunas de las ventajas de la aplicación de estas técnicas, es que se reduce la multicolinealidad, se controla la heterogeneidad, y es posible analizar la estabilidad de los parámetros a lo largo del tiempo estudiado.

En este trabajo, se presenta un modelo de datos de panel de segunda generación, esto es, se reconoce que existe dependencia transversal en los datos analizados, por ello, se considera una ruta crítica expresada en los siguientes puntos:

- i. Prueba de dependencia transversal. Pesaran (2004), presenta un test que permite diagnosticar si las perturbaciones () de las secciones cruzadas se encuentran correlacionadas Bajo la hipótesis nula de que existe independencia transversal, se pone a prueba el siguiente test:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right)} \sim N(0,1) \quad (1)$$

⁵ La destrucción creativa es un proceso mediante el cual las innovaciones reemplazan continuamente a las tecnologías, empresas y métodos antiguos. Para Schumpeter (1950), se trata de un ciclo donde se destruye lo viejo para crear lo nuevo.

- ii. El siguiente punto es analizar si existe estacionariedad en las series, recordando que la base de los datos de panel es que se incluyen series de tiempo, por lo tanto, se debe de garantizar que su media y su varianza no cambian con el tiempo. Pesaran *et al.*, (2003), proponen el estadístico, como una prueba robusta para analizar la raíz unitaria de las series en el panel. El test se analiza bajo el criterio de una hipótesis nula donde las series no son estacionarias:

$$\tilde{t} - \bar{bar}_{NT} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{t}_{iT} \quad (2)$$

- iii. Para el tercer paso se analiza si el panel cointegra, esto es, se busca probar a través de un mecanismo de corrección de error si las variables tienen relación en el largo plazo. Westerlund (2007), propone un test para datos panel que identifica dicho comportamiento. Bajo la hipótesis nula de no cointegración, se prueba a partir de cuatro paneles, dos de ellos analizan la cointegración en al menos una de las unidades (y); mientras que, los restantes, analizan la cointegración de todo el grupo (y).

$$\alpha(L) \Delta y_{it} = \delta_{1i} + \delta_{2i} + \alpha (y_{it-1} \beta' x_{it-1}) + y_i(L)' v_{it} + e_1 \quad (3)$$

- iv. Una vez realizadas las pruebas descritas en los puntos anteriores, se presenta el estimador PMG (Pesaran *et al.*, 1999), el cual calcula coeficientes de corto y largo plazo, a través de un modelo de rezagos distribuidos (ARDL). Esto es, a través de un panel dinámico que incorpora retardos en las variables, se calcula el impacto de las variables independientes en la dependiente. El modelo econométrico parte de un promedio en las unidades económicas y presenta un mecanismo de corrección de error y velocidad de ajuste. Estas características son capturadas en la siguiente función:

$$\Delta y_{it} = \phi_i y_{i,t-1} + X_{it} \beta_i' + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \Delta X_{i,j} \delta_{ij}^* + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Donde:

ϕ_i = Parámetro de velocidad de corrección de errores del término de ajuste.

Y_i = $(y_{i1}, \dots, y_{iT})'$ es un vector de $T \times 1$ de las observaciones sobre la variable dependiente del i -ésimo grupo.

X_i = $(x_{i1}, \dots, x_{iT})'$ es una matriz $T \times k$ de observaciones sobre los regresores que varían entre grupos y periodos de tiempo.

y_{i-j} y X_{i-j} = Son valores rezagados de y y X .

λ_{it} = Escalares.

δ = Vectores de coeficientes $k \times 1$.

ε_i = Término de error.

4.1. Bases de datos y fuentes de información

Los datos de la variable dependiente se obtienen de la información presentada por el Banco Mundial (2024), a través del indicador de emisiones totales de dióxido de carbono, las cuales son provenientes de quema de combustibles fósiles, producción de cemento y el consumo de gas, la unidad de medida se encuentra representada en kilotoneladas, lo que sería equivalente a 1,000 toneladas métricas de CO_2 emitidas al año.

El Producto Interno Bruto (PIB), se obtiene de la base de datos internacional *Penn World Table* (PWT), la cual presenta información equiparable a través del tiempo, ya que se ajustan los precios a paridad de poder adquisitivo (dólares de 2017), lo que permite comparar niveles reales de la actividad económica entre países (Feenstra *et al.*, 2015; University of Groningen, 2023).

El indicador de competitividad tiene como base la propuesta realizada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, por sus siglas en inglés), su cálculo incluye ocho subindicadores que consideran aspectos asociados al desarrollo industrial de los países. En otras palabras, mide la capacidad de las economías en producir, exportar y competir a través de productos manufacturados en los mercados internacionales (UNIDO, 2013; 2024).

En lo que se refiere al cambio tecnológico, se retoma la información del indicador nivel de profundización y mejora tecnológica de los países, el cual captura la producción manufacturera que implementa la industria en sectores de mediana y alta gama tecnológica, así como la exportación de productos con un alto grado tecnológico (UNIDO, 2024).

A partir de estos elementos, es posible determinar, siguiendo la metodología de Pesaran *et al.*, (1990), la ecuación estructural del modelo en los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \Delta \text{CO2}_{it} = & \phi_i \ln \text{CO2}_{i,t-1} + \ln \text{PIB}_{it} \beta_1 + \ln \text{CIP}_{it} \beta_2 + \ln \text{A}_{it} \beta_3 + \sum_{j=i}^{p-1} \lambda_{ij}^* \\ & \Delta \ln \text{CO2}_{i,t,j} + \sum_{j=0}^{q-1} \Delta \ln \text{PIN}_{i,j} \delta_{ij}^* \sum_{j=0}^{q-1} + \Delta \ln \text{CIP}_{i,j} \\ & \delta_{ij}^* \sum_{j=0}^{q-1} + \Delta \ln \text{A}_{i,j} \delta_{ij}^* + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde:

ϕ_i = Parámetro de velocidad de corrección de error del término de ajuste.

CO2_{it} = Vector de T x 1 de las observaciones de la variable dependiente (emisiones de CO_2) en las economías latinoamericanas.

PIB_{it} = Matriz de T x k de observaciones sobre los regresores de la variable independiente PIB, que varían entre grupos en el periodo de tiempo.

CIP_{it} = Matriz de T x k de observaciones sobre los regresores de la variable independiente competitividad, que varían entre grupos en el periodo de tiempo.

A_{it} = Matriz de T x k de observaciones sobre los regresores de la variable independiente cambio tecnológico, que varían entre grupos en el periodo de tiempo.

$\mathbf{1}$ = (1,..., 1) es un vector T x 1 de los $\text{CO2}_{i,t-j}$, $\text{PIB}_{i,j}$, $\text{CIP}_{i,j}$ y $\text{A}_{i,j}$. Son valores rezagados de CO2_{it} , PIB_{it} , CIP_{it} y A_{it} .

λ_{it} = Escalares.

δ = Vectores de coeficientes k x 1.

ε_i = Término de error.

5. Resultados

De acuerdo con la prueba de dependencia de las secciones cruzadas de Pesaran (2004), las cuatro variables del panel presentan valores probabilísticos menores a 0.05 (ver tabla 1). Esto lleva a rechazar la hipótesis nula de independencia entre las secciones cruzadas, es decir, existe dependencia transversal y se hace necesario instrumentar pruebas de raíz unitaria de segunda generación.

Tabla 1.

Prueba de dependencia transversal (Pesaran, 2004).

	$\ln CO_2$	$\ln PIB$	$\ln CIP$	$\ln A$
CD-Test	35.8	10.5	10.6	4.04
Valor-p	0.00	0.00	0.00	0.00
corr	0.68	0.20	0.78	0.07
abs (corr)	0.75	0.39	0.85	0.30

Fuente: elaboración propia con base en *Penn World Table* versión 10.0 (University of Groningen, 2021); Banco Mundial (2023); UNIDO (2024).

Para determinar que las relaciones econométricas no sean espurias, se hace necesario realizar la prueba de raíz unitaria, a través del estadístico τ . En la tabla 2, se presenta la información para cada variable a nivel, esto es, se encuentra en su forma original sin transformaciones y se verifica que tiene un comportamiento de no estacionariedad. Sin embargo, cuando se le aplica la primera diferencia, es decir, se eliminan las tendencias a partir del cálculo de un periodo a uno, es posible identificar que los valores probabilísticos son menores a 0.05, lo que indica que las variables elegidas en el panel son estacionarias en su primera diferencia.

Tabla 2.

Prueba de raíz unitaria (Im et al., 2003)

$\ln CO_2$		$\ln PIB$		$\ln CIP$		$\ln A$	
Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p
-0.12	0.45	3.11	0.99	-1.04	0.14	-1.26	0.10
$\Delta \ln CO_2$		$\Delta \ln PIB$		$\Delta \ln CIP$		$\Delta \ln A$	
-14.4	0.00	-8.07	0.00	-12.13	0.00	-13.29	0.00

Fuente: elaboración propia con base en *Penn World Table* versión 10.0 (University of Groningen, 2021); Banco Mundial (2023); UNIDO (2024).

Una vez comprobado que el panel cuenta con dependencia transversal y que las variables son estacionarias en su primera diferencia, se procede a aplicar la prueba de cointegración de Westerlund (2007). Se busca que al menos uno de los estadísticos (α y β) su valor probabilístico sea inferior a 0.05, de esta manera, se rechazaría la hipótesis nula de no cointegración. En la tabla 3, es posible identificar que el estadístico α tiene un valor probabilístico de 0.01, esto corrobora que existe evidencia de cointegración parcial en el largo plazo, es decir, algunas unidades del panel presentan dicha relación de equilibrio.

Tabla 3.

Prueba de cointegración (Westerlund, 2007)

Estadístico	Value	Z-value	P-Value
GT	-3.41	-3.03	0.01
Ga	-6.24	6.93	1.00
PT	-3.28	6.38	1.00
Pa	-0.24	5.85	1.00

Fuente: elaboración propia con base en *Penn World Table* versión 10.0 (University of Groningen, 2021); Banco Mundial (2023); UNIDO (2024).

El último paso consiste en realizar la estimación del modelo (véase tabla 4). Las variables se presentan en logaritmo natural, se tienen entonces las siguientes interpretaciones.

- La ecuación de corto plazo se interpreta en los siguientes términos:
 - Un incremento del 1% en el PIB se encuentra asociado con un aumento en el 0.52% de las emisiones de CO₂, siendo la variable más importante en el corto plazo.
 - Si la variable asociada con el cambio tecnológico se incrementa en 1%, las emisiones de CO₂, disminuirán en 0.16%, se encuentra en este caso, una relación inversa entre estas variables.
 - Un aumento del 1% en la competitividad provoca un incremento del 0.14% en las emisiones de CO₂, por lo que es de las tres variables independientes la menos importante en el corto plazo.
- La ecuación de largo plazo se interpreta como sigue:
 - En el largo plazo la tecnología tiene una mayor elasticidad sobre las emisiones, un cambio de 1% en dicha variable reduce las emisiones de CO₂ en 0.97%.
 - Un incremento del 1% en la competitividad se asocia con un aumento del 0.64% en las emisiones de CO₂.
 - El PIB, es la variable con menor elasticidad en el largo plazo, se evidencia que ante un aumento del 1% en el crecimiento económico aumenta en 0.61% las emisiones de CO₂.

Tabla 4. Estimador PMG (Pesaran et al., 1999).

Variables	Coefficientes	Error estándar
Largo plazo		
lnPIB (L1)	0.6127***	0.073
lnCIP (L1)	0.6358***	0.094
lnA (L1)	-0.9656***	0.166
Corto plazo		
lnPIB(D1)	0.5179***	0.137
lnCIP(D1)	0.1438***	0.069
lnA (D1)	-0.1576**	0.088
Corrección de Error (φ)	-0.125***	0.019

Nota: *** Significancia estadística al nivel del 1%.

**Significancia estadística al nivel del 5%.

Fuente: elaboración propia con base en Penn World Table versión 10.0 (University of Groningen, 2021); Banco Mundial (2023); UNIDO (2024).

En la tabla 4, se observa, además, el mecanismo de corrección de error. De acuerdo con Pesaran *et al.*, (1999), nos muestra la velocidad de ajuste hacia el equilibrio de largo plazo. Este indicador debe ser negativo y significativo, su interpretación es que, si existe algún desajuste en el sistema, este podrá ser corregido en alrededor del 12.5% cada año. En otras palabras, si las emisiones de CO₂, el crecimiento económico, la competitividad y la tecnología se encuentran conectados en el largo plazo, y existe un cambio o alteración, el sistema tiende a ajustarse hasta lograr una relación estable en dicho porcentaje. Usando la propuesta de Asteriou y Hall (2021), el modelo tardaría alrededor de 8 años en reajustarse al equilibrio.

Conclusiones

En el presente trabajo se analizan los efectos del desempeño económico, en el deterioro ambiental en catorce economías latinoamericanas, durante el periodo 1990-2019. A partir de una metodología de datos de panel de segunda generación, donde se evidencia que las variables tienen dependencia transversal, estacionariedad en su primera diferencia y se comprueba la cointegración parcial en el largo plazo.

A través del modelo de estimación PMG, se demostró que el deterioro ambiental expresado a partir de las emisiones de CO₂ y las variables explicativas, PIB, competitividad y cambio tecnológico tienen una relación de equilibrio en el largo plazo. Esto es, el sistema tiende a ajustarse hacia el equilibrio cuando existen alteraciones temporales en el modelo, de manera que, si ello ocurre el desequilibrio se ajustará en un 12.5% en cada periodo, esto es, tardaría alrededor de 8 años.

En cuanto a las relaciones de corto plazo, los resultados muestran que el crecimiento económico es el que tiene un mayor impacto en el deterioro ambiental, el proceso de estimación demostró que, el cambio tecnológico tiene un impacto negativo con las emisiones de CO₂ con una elasticidad de 0.16%, y en último lugar, la competitividad incide de manera directa en la variable dependiente -emisiones de CO₂-

En el largo plazo, la relación inversa entre el cambio tecnológico y las emisiones de CO₂, da evidencia de una mayor reducción en las emisiones de CO₂ respecto al corto plazo. Las relaciones directas con el PIB y la competitividad se mantienen. Sin embargo, esta última variable tiene ahora una mayor importancia que el propio crecimiento económico en las emisiones de CO₂.

Los resultados del proceso de estimación, permiten comprobar la hipótesis de trabajo, según la cual existe una relación directa entre el crecimiento económico y la competitividad con las emisiones de CO₂, mientras que, se presenta una relación inversa entre el cambio tecnológico y las emisiones de CO₂, en las economías latinoamericanas durante el periodo 1990-2019.

En el trabajo se muestra la situación latinoamericana, donde el crecimiento económico incide en un mayor impacto ambiental, lo que podría plantear la posibilidad de una baja eficiencia energética asociada a la expansión económica. Asimismo, la mayor competitividad tampoco ha influido en un menor impacto ambiental. Esto podría plantear la posibilidad de en futuras líneas de investigación, incluir variables de control de suma importancia como son la eficiencia y la productividad en la búsqueda de un crecimiento sostenible.

Por último, en los resultados obtenidos se observa la relevancia del papel del cambio tecnológico en la reducción de las emisiones de CO₂. En este sentido, las economías latinoamericanas podrían ver una oportunidad de desarrollo sostenible, si apuestan por la innovación y eficiencia energética, para así, reducir la dependencia de las industrias intensivas en emisiones de carbono.

Referencias bibliográficas

- Asteriou, D. y Hall, S. G. (2021). *Applied econometrics* (4th ed.). Macmillan Education Limited.
- Banco Mundial. (2024). *Emisiones de CO2 (kt)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>
- Bretschger, L. (2005). Economics of technological change and the natural environment: How effective are innovations as a remedy for resource scarcity? *Ecological Economics*, 54(2–3), 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.026>
- Brock, W. y Taylor, M. S. (2004). *Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics*. <https://doi.org/10.3386/w10854>

- Cobb, C. y Douglas, P. (1928). A theory of production. *American Economic Review*, 18, 139–165.
- Esty, D. C. y Porter, M. E. (2002). National Environmental Performance Measurement and Determinants. En *Environmental Performance Measurement: The Global Report 2001-2002* (pp. 24–42). Oxford University Press New York, NY. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195152555.003.0003>
- Feenstra, R. C. y Inklaar, R. y Timmer, M. P. (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10), 3150–3182. <https://doi.org/10.1257/aer.20130954>
- Grimaud, A. y Rougé, L. (2003). Non-renewable resources and growth with vertical innovations: optimum, equilibrium and economic policies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2), 433–453. [https://doi.org/10.1016/S0095-0696\(02\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0095-0696(02)00049-9)
- Grossman, G. y Krueger, A. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- Im, K. S. y Pesaran, M. H. y Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 65, 1–28.
- Lans, A. y Smulders, S. (1995). Environmental quality and pollution-augmenting technological change in a two-sector endogenous growth model. *Journal of Public Economics*, 57(3), 369–391. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(95\)80002-Q](https://doi.org/10.1016/0047-2727(95)80002-Q)
- López, R. E. y Figueroa, E. (2016). On the Nexus Between Fiscal Policies and Sustainable Development. *Sustainable Development*, 24(4), 201–219. <https://doi.org/10.1002/sd.1622>
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22.
- Moral, I. y Pérez, C. (2018). *Econometría de datos panel*. Gaceta. Grupo editorial.
- Panayotou, T. (1993). *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*. Working Paper WP238, Technology and Employment Programme.
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- Pesaran, M. H. y Shin, Y. y Smith, R. P. (1999). Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.1080/01621459.1999.10474156>
- Porter, M. E. y Linde, C. van der. (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- Rebelo, S. (1991). Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 99(3), 500–521. <https://doi.org/10.1086/261764>
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Schumpeter, J. (1950). *Capitalism, socialism and democracy* (3ra. ed.). Harper & Brothers.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. En *Source: The Quarterly Journal of Economics* (Vol. 70, Número 1).
- Solow, R. M. (1974). Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *The Review of Economic Studies*, 41, 29–45. <https://doi.org/10.2307/2296370>
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>

- Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334–361. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x>
- UNIDO. (2013). *Competitive Industrial Performance Report 2012/2013*.
- UNIDO. (2024). *Índice de Competitividad Industrial*. United Nations Industrial Development Organization.
- University of Groningen. (2023, enero 23). *Penn World Table version 10.01*. <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>
- Weil, D. (2006). *Crecimiento económico*. Pearson Education.
- Westerlund, J. (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709–748. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x>
- Xepapadeas, A. (1997). Economic development and environmental pollution: traps and growth. *Structural Change and Economic Dynamics*, 8(3), 327–350. [https://doi.org/10.1016/S0954-349X\(96\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0954-349X(96)00072-0)
- Yaniz, L. (2024, enero 12). *La triple crisis planetaria: Qué es y qué soluciones existen*. Interamerican Association for Environmental Defense (AIDA).