

# CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN AMÉRICA LATINA, 1990-2015\*

Recibido: 10 de julio del 2018 • Aprobado: 30 de septiembre del 2018  
<https://doi.org/10.22395/seec.v21n49a2>

Maribel Pinilla Rivera\*\*  
Carlos Díaz-Rodríguez\*\*\*  
Edgar Emilio Sánchez-Buendía\*\*\*\*

## RESUMEN

Este artículo estudia la relación entre crecimiento económico y emisiones de dióxido de carbono en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay de 1990 al 2015. Mediante la técnica de panel de cointegración se encontró que en el 70% de los países analizados, incluyendo el consolidado de la región, no se cumple la curva medio ambiental de Kuznets. En los casos de Uruguay y Colombia se cumple la Curva medio ambiental de Kuznets debido a la disminución de las elasticidades del ingreso a largo plazo con respecto a las de corto plazo. Sin embargo, el mecanismo de corrección de errores para el caso de Colombia no es estadísticamente significativo porque la relación entre las emisiones y el crecimiento económico puede ser divergente en el largo plazo.

## PALABRAS CLAVE

Medio ambiente; curva medio ambiental de Kuznets; crecimiento económico; América Latina; emisiones de dióxido de carbono

## CLASIFICACIÓN JEL

O44, O10, Q57, Q56

## CONTENIDO

Introducción; 1. Hipótesis; 2. Revisión de la literatura; 3. Resultados; 4. Conclusiones; Bibliografía.

\* El artículo es producto del proyecto de investigación "La influencia del crecimiento económico en las emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina durante el período 1990-2015", financiado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas durante el 2017, Grupo de investigación en Estudios Ambientales (GEA.UD).

\*\* Administradora de empresas, Universidad Central, Bogotá. Magíster en Ciencias Económicas, Universidad Santo Tomás, Bogotá. Doctora en Modelado en Política y Gestión Pública, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Profesora e investigadora, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Dirección: Calle 52 Sur # 93D-97, oficina 347. Correo electrónico: [mpinillar@udistrital.edu.co](mailto:mpinillar@udistrital.edu.co)

\*\*\* Ingeniero electricista, Universidad Nacional, Bogotá. Magíster en Ciencias Económicas, Universidad Nacional, Bogotá. Candidato a Doctor en Economía y Dirección Estratégica de la Energía, Universidad Autónoma de Madrid. Doctor en Bioética, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia. Profesor e investigador, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Dirección: Calle 52 Sur # 93D-97, oficina 346. Correo electrónico: [cdiazr@udistrital.edu.co](mailto:cdiazr@udistrital.edu.co)

\*\*\*\* Administrador de empresas, Universidad Externado de Colombia, Bogotá. Magíster en Administración de Empresas (MBA), Universidad Externado de Colombia, Bogotá. Profesor e investigador, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Dirección: Calle 52 Sur # 93D-97, oficina 346. Correo electrónico: [eesanchezb@udistrital.edu.co](mailto:eesanchezb@udistrital.edu.co)

## ECONOMIC GROWTH AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN LATIN AMERICA, 1990-2015

### ABSTRACT

This article studies the relationship between economic growth and carbon dioxide emissions in Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Mexico, Paraguay, Peru and Uruguay from 1990 to 2015. Using the cointegration panel technique, it was found that 70% of the countries analyzed –including the consolidated region– do not meet the Environmental Kuznets Curve. In the cases of Uruguay and Colombia, the Environmental Kuznets Curve is met due to the reduction of long-term income elasticities with respect to short-term income elasticities. However, the error correction mechanism for the Colombian case is not statistically significant because the relationship between emissions and economic growth may be divergent in the long term.

### KEYWORDS

Environment; Environmental Kuznets Curve; economic growth; Latin America; carbon dioxide emissions

### JEL CLASSIFICATION

O44, O10, Q57, Q56

### CONTENTS

Introduction; 1. Hypothesis; 2. Literature review; 3. Results; 4. Conclusions; Bibliography.

## CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NA AMÉRICA LATINA, 1990-2015

### RESUMO

Este artigo estuda a relação entre crescimento econômico e emissões de dióxido de carbono na Argentina, na Bolívia, no Brasil, no Chile, na Colômbia, no Equador, no México, no Paraguai, no Peru e no Uruguai de 1990 a 2015. Por meio da técnica de painel de cointegração, descobriu-se que em 70% dos países analisados, incluindo o consolidado da região, não se cumpre com a curva ambiental de Kuznets. Nos casos do Uruguai e da Colômbia, cumpre-se com a curva ambiental de Kuznets devido à diminuição das elasticidades de ingresso em longo prazo com respeito às de curto prazo. No entanto, o mecanismo de correção de erros para o caso da Colômbia não é estatisticamente significativo porque a relação entre as emissões e o crescimento econômico pode ser divergente em longo prazo.

### PALAVRAS-CHAVE

Meio ambiente; curva ambiental de Kuznets; crescimento econômico; América Latina; emissões de dióxido de carbono

### CLASSIFICAÇÃO JEL

O44, O10, Q57, Q56

### CONTEÚDO

Introdução; 1. Hipótese; 2. Revisão da literatura; 3. Resultados; 4. Conclusões; Bibliografia.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del artículo es analizar la relación entre crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países de América Latina –Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay– y su consolidado desde 1990 hasta el 2015.

La relación entre el Producto Interno Bruto (PIB) y emisiones de CO<sub>2</sub> se puede explicar mediante curvas monotónicas y no monotónicas (De Bruyn, van den Bergh y Opschoor, 1998). La literatura presenta diferencias sustanciales en los tipos de curvas obtenidas, con desacuerdos significativos en la capacidad explicativa de la curva de Kuznets ambiental (CKA) con la técnica de panel de datos cuando se relacionan las dos (2) variables de estudio.

Para determinar el grado de asociación del crecimiento económico de las emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina durante el período de estudio<sup>1</sup>, se elaboró un panel de cointegración<sup>2</sup>. Se analizaron las representaciones gráficas de las variables del panel de datos y el contraste de igualdad de medias o varianzas para los países analizados. Se utilizó el test de panel de Breitung y Pesaran y el modelo ADF, para verificar que el crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub> fueran integrables de orden uno (1) para todos los países estudiados. Se emplearon la prueba de Pedroni y la prueba de Kao para probar la relación de cointegración. Las ecuaciones de cointegración a largo plazo se determinaron mediante los siguientes supuestos: i) efectos fijos; ii) método de mínimos cuadrados completamente modificados (FMOLS); y iii) método de panel de estimación de Pooled. Se determinaron las elasticidades de crecimiento en el corto plazo y el mecanismo de corrección de errores (MCE).

La hipótesis de trabajo de esta investigación considera que se cumple la curva de Kuznets ambiental (CKA), entendida como una menor elasticidad a largo plazo con respecto a la elasticidad a corto plazo para los países de América Latina –Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay– y el consolidado de la región durante el período 1990 al 2015.

Para dar inicio al artículo se realiza una revisión de la literatura de las investigaciones más significativas que relacionan el crecimiento económico y las emisiones

---

<sup>1</sup> Las series de tiempo para las variables de crecimiento económico (PIB) y emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> se obtuvieron de la Comisión Económica para América Latina (Cepal) y su base de datos (Cepalstat). Las estimaciones econométricas se realizaron con el paquete econométrico EViews versión 9.

<sup>2</sup> Los datos de panel de este trabajo presentan unas series de tiempo (1990-2015) que son mayores a la cantidad de países analizados (diez países de América Latina) para establecer una relación de largo plazo entre las emisiones y el ingreso. Se elige la cointegración con datos de panel por ser una metodología robusta que permite estudiar series con variables integrables de orden uno (1) y evita el problema de obtener resultados espurios.

de CO<sub>2</sub>, por medio de técnicas de panel de datos. Asimismo, se presentan los resultados del panel de cointegración para los países de la región objeto de estudio y el consolidado de América Latina para el periodo 1990-2015. Para finalizar, se presentan las conclusiones en consonancia con el objetivo propuesto.

## 1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

De Bruyn, van den Bergh y Opschoor (1998) señalan que la relación entre ingreso y presión medio ambiental se puede representar mediante curvas monótonas y no monótonas. En las curvas monótonas, un incremento en los ingresos puede ocasionar aumentos o disminuciones en la contaminación. En los modelos no monótonos, la relación entre ingresos y contaminación puede generar curvas como la forma U invertida y la N.

Yang et al. (2015) estudian la curva en forma de M e indican que en esta función hay dos etapas en la relación entre el desarrollo económico y la emisión de dióxido de carbono. En la primera etapa, el nivel de desarrollo económico no es alto y las emisiones de dióxido de carbono aumentan al principio y luego disminuyen. En la segunda etapa, cuando la economía crece a un cierto nivel, las emisiones aumentan nuevamente hasta alcanzar un segundo punto máximo, para luego disminuir gradualmente.

La forma de U invertida es la CKA. En las etapas iniciales de desarrollo de un país, la relación ingreso per cápita y nivel de contaminación es de carácter incremental, hasta alcanzar cierto umbral o estadio de desarrollo en el cual la relación ingreso-contaminación tendería a decrecer. Una alternativa para evaluar la existencia de la CKA se logra mediante el cálculo de las elasticidades del ingreso<sup>3</sup> a corto y largo plazo. Un país en el que se reduce la elasticidad del ingreso a largo plazo con respecto a la elasticidad de aquel a corto plazo permite verificar la existencia de la CKA, debido a la mayor inelasticidad en el largo plazo con respecto al corto plazo de las emisiones de CO<sub>2</sub> ante cambios porcentuales en el ingreso de un país.

El primer estudio significativo para validar la CKA lo realizaron Grossman y Krueger (1991) para el caso del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). En este, encontraron que el crecimiento económico trae consigo una fase inicial de deterioro de la calidad del aire, seguida por una fase posterior de mejora. Otros estudios han confirmado los hallazgos de la CKA para diversos contaminantes del aire, entre los cuales vale la pena nombrar los de Shafik y Bandopadhyay (1992), Panayotou (1995), Cole, Rayner y Bates (1997).

---

<sup>3</sup> La elasticidad de un país se entiende como el cambio porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> ante variaciones porcentuales de ingreso.

La CKA se verifica aplicando técnicas de panel de datos en numerosos trabajos, por ejemplo, De Bruyn, van den Bergh y Opschoor (1998) relacionan ingresos y tipos de emisiones para cuatro países desarrollados –a saber, Holanda, Reino Unido, Estados Unidos y Alemania Occidental–. Proponen que las emisiones se pueden reducir con tecnologías de abatimiento como lo son: secuestro de carbono mediante la reforestación de áreas marginales de tierra y cambios en las prácticas agrícolas; producción de electricidad con energías renovables; plantas fósiles equipadas con captura y almacenamiento de carbono; motores para vehículos de mayor eficiencia en el consumo de combustibles; sistemas de aislamiento en construcciones, entre otros.

Narayan y Narayan (2010) evalúan la hipótesis de la CKA para 43 países en vía de desarrollo con técnicas de panel de datos y series de tiempo. Los autores señalan que se verifica la CKA cuando un país reduce la elasticidad de su ingreso a largo plazo con respecto a la elasticidad del ingreso a corto plazo, es decir, que hay una tendencia decreciente en el largo plazo entre el ingreso y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados muestran que la CKA se cumple en los países de Asia del Sur y del Medio Oriente, puesto que se reducen las emisiones a largo plazo cuando aumenta el ingreso.

Dietz y Rosa (1997) encontraron que el crecimiento económico y la población son determinantes para las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para lograr estos resultados se apoyaron en la identidad desarrollada en la década del setenta denominada Impact Population Affluence Technology (IPAT), pilar desde ese entonces de muchos estudios empíricos. Dietz y Rosa (1997) hallaron que el umbral máximo de la relación entre emisiones e ingreso tendría que estar en un valor cercano a los US \$ 10.000 por habitante al año y las emisiones declinarían a niveles mayores que las de ese ingreso.

Algunos trabajos han verificado que el patrón de U invertida no se cumple, por ejemplo, Ravallion, Heil y Jalan (2000) establecieron que la relación entre emisiones y renta es monótonamente creciente. Azomahou, Laisney y Nguyen Van (2005) estudiaron la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita e ingreso per cápita para un panel no paramétrico de 100 países durante el período 1960-1996, no rechazaron la hipótesis de funciones monótonas, pero sí la función polinómica que conduce a la CKA.

Según Antonakakis, Chatziantoniou y Filis (2017) en una investigación a 106 países clasificados con diferentes niveles de ingreso durante el periodo 1971-2011, analizaron la CKA y hallaron que el crecimiento económico continuado incrementa los gases efecto invernadero; no encontraron evidencia de que los países desarrollados puedan disminuir las emisiones con los aumentos en el ingreso.

Mediante los inventarios de producción y consumo de dióxido de carbono durante el periodo 1997-2011, Fernández et al. (2017) no encontraron evidencia de que se cumpla la CKA. Por su parte, Martínez-Zarzoso y Bengoechea-Morancho (2004) señalaron que hay una relación cúbica entre el CO<sub>2</sub> y el PIB, la CKA tiene una forma de N. La función cúbica sugiere la posibilidad de una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> cuando el ingreso aumenta hasta cierto nivel, después se presentarían aumentos en la contaminación por la presencia de mayores ingresos. El trabajo de Selden y Song (1994) identificó una relación cuadrática entre las emisiones por habitante y el ingreso e incluyeron la densidad de la población como una variable explicativa de las emisiones per cápita.

En un estudio sobre las emisiones de SO<sub>2</sub> y los ingresos mediante un panel de datos a 74 países, Perman y Stern (1999) establecieron que muchas de las funciones individuales de la CKA no están cointegradas y tienen forma de U, a pesar de que el panel de datos pueda estar cointegrado. Por último, Yang et al. (2015) aplicaron el método de regresión simbólica a 67 países durante el período 1971-2010 y encontraron que el modelo de la CKA es insuficiente para explicar la relación entre ingresos y emisiones. El trabajo de los citados autores señala que en países desarrollados predomina la forma de N invertida y la forma de M, mientras que en países en desarrollo se observa un predominio de la forma de N invertida, U invertida y funciones monótonas crecientes.

En síntesis, los estudios empíricos presentan resultados diversos al estudiar la relación entre el PIB y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

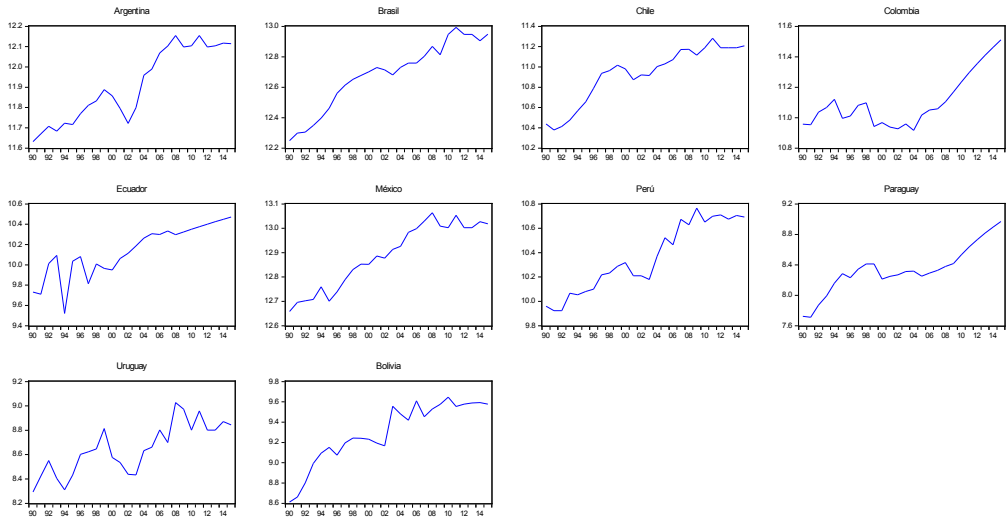
## 2. RESULTADOS

### 2.1 Representaciones gráficas y prueba de raíces unitarias

Se presentan las gráficas de las variables del panel de datos con todas las secciones cruzadas y el gráfico de la evolución de las medias de Log(emisiones) y Log(PIB) en las distintas secciones cruzadas, con una banda de confianza de y el contraste de igualdad de medias o varianzas para los países analizados.

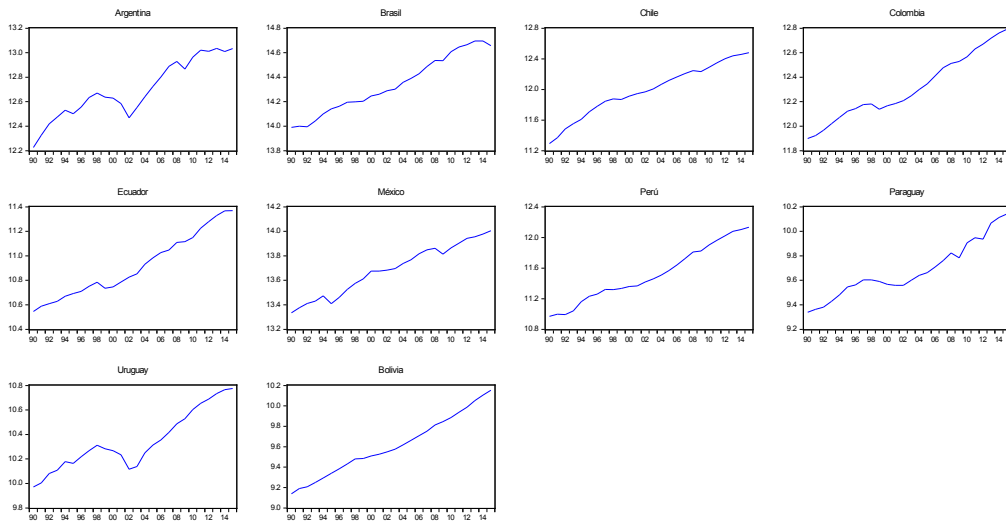
Las gráficas obtenidas de la variable Log(emisiones) para todas las secciones cruzadas del panel de datos se presentan en la figura 1. Para el caso de la variable Log(PIB), se obtiene la gráfica de las secciones cruzadas de la figura 2. Asimismo, se rechaza la igualdad de medias y la igualdad de varianzas (p-valores menores que 0,05). Lo mismo se cumple para el resto de variables.

Figura 1. Representación gráfica y prueba de raíces unitarias. Variable Log (emisiones)



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Representación gráfica y prueba de raíces unitarias. Variable Log(PIB)



Fuente: elaboración propia

Los resultados de la prueba de raíces unitarias mediante el test de Pesaran, relacionados en la tabla 1 para el consolidado de los diez (10) países estudiados en el panel de datos, arroja que las series no son estacionarias en I(0), pero son estacionarias en I(1). Esto significa que, para el consolidado de la región, ambas variables Log (emisiones) y Log (PIB) son integrables de orden uno (1) o en primeras

diferencias, por lo que se pueden comparar y relacionar para verificar sus asociaciones a corto y largo plazo.

**Tabla 1. Prueba de raíces unitarias mediante el test de Pesaran**

<i>Im, Pesaran and Shin W-stat (IPS)</i>		<i>Log(emisiones)</i>		<i>Log(PIB)</i>	
<i>Sección</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>Prob.</i>	<i>t-Stat</i>	<i>t-Stat</i>
América Latina	0,7543	0,6881	0,00000	-9,00410	
<i>Sección</i>		<i>Log(PIB)</i>		<i>Log(PIB)</i>	
<i>Sección</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>Prob.</i>	<i>t-Stat</i>	<i>t-Stat</i>
América Latina	0,5784	0,19783	0,00000	-5,54991	

Fuente: elaboración propia

Iguals resultados de la prueba de raíces unitarias se verifican con las pruebas de Breitung, como se refleja en la tabla 2.

**Tabla 2. Prueba de Breitung**

<i>Breitung t-stat</i>		<i>Log(emisiones)</i>		<i>Log(PIB)</i>	
<i>Sección</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>Prob.</i>
América Latina	-0,00464	0,4981	-7,06987	0,0000	
<i>Sección</i>		<i>Log(PIB)</i>		<i>Log(PIB)</i>	
<i>Sección</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>Prob.</i>
América Latina	0,31626	0,6241	-4,62285	0,0000	

Fuente: elaboración propia

Los resultados de las pruebas de raíces unitarias (ADF) para cada uno de los países, como se observa en la tabla 3, arrojan no estacionariedad en I(0) y estacionariedad en I(1). Estos resultados permiten relacionar las dos variables de estudio para cada uno de los países.

**Tabla 3. Prueba de raíces unitarias (ADF)**

<i>ADF</i>	<i>Log(PIB)</i>		<i>Log(emisiones)</i>	
	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>	<i>t-Stat</i>	<i>Prob.</i>
Argentina	-2,212	0,3159	-2,5331	0,3108
Brasil	-2,1021	0,5165	-1,6836	0,7284
Chile	-3,6367	0,0477	-1,2507	0,8768
Colombia	-1,6850	0,7264	-0,2059	0,9886
Ecuador	-1,3751	0,8433	-2,5779	0,2922



ADF	Log(PIB)		Log(emisiones)	
México	-2,7336	0,2327	-1,5863	0,7695
Perú	-1,8826	0,6292	-2,3092	0,4130
Paraguay	-1,5184	0,7916	-1,2750	0,8708
Uruguay	-1,8467	0,6501	-3,0504	0,1419
Bolivia	-1,3532	0,8474	-2,8201	0,2035

Fuente: elaboración propia

## 2.2 Test de cointegración y estimación de elasticidades

El test de cointegración de Pedroni supone que la hipótesis nula es de no cointegración y se apoya en siete estadísticas de prueba: i) panel v-estadístico; ii) panel p-estadístico; iii) panel t-estadístico (no paramétrico); iv) panel t-estadístico (paramétrico); v) grupo p-estadístico; vi) grupo t-estadístico (no paramétrico); y vii) grupo t-estadístico (paramétrico). Se aplicó la prueba de Pedroni en tres escenarios (intercepto individual; intercepto individual y tendencia individual; sin intercepto y sin tendencia) para hallar que de las 11 pruebas, por lo menos 7 rechazan la hipótesis nula (ver tabla 4), es decir que por mayoría se acepta la hipótesis alternativa de que existe cointegración entre las variables Log(PIB) y Log(emisiones).

Tabla 4. Resultados de la prueba de cointegración de Pedroni

Tipo de prueba	Sin tendencia		Intercepto y tendencia		Sin intercepto y tendencia	
	Prob (s)	Prob (ws)	Prob (s)	Prob (ws)	Prob (s)	Prob (ws)
Panel v	×	×	×	×	✓ <sup>1/</sup>	×
Panel rho	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>2/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>
Panel PP	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>1/</sup>
Panel ADF	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>2/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>2/</sup>	✓ <sup>1/</sup>	✓ <sup>2/</sup>
Group rho	×		×		✓ <sup>2/</sup>	
Group PP	✓ <sup>1/</sup>		✓ <sup>1/</sup>		✓ <sup>1/</sup>	
Group ADF	×		×		✓ <sup>1/</sup>	
Número de pruebas ✓	7		7		10	

Prob (s): Probabilidad del estadístico y Prob (ws): Probabilidad del estadístico ponderado

✓<sup>1/</sup> Rechaza la hipótesis de no existencia de cointegración entre las dos variables al 1%

✓<sup>2/</sup> Rechaza la hipótesis de no existencia de cointegración entre las dos variables al 5%

× Acepta la hipótesis de no existencia de cointegración entre las dos variables

Fuente: elaboración propia

Se aplicó la prueba de Kao con intercepto individual dando como resultado la existencia de cointegración entre Log(PIB) y Log(emisiones), debido a que se rechaza la hipótesis nula de no cointegración, como se observa en la tabla 5:

**Tabla 5. Resultados de la prueba de Kao**

Prueba Kao	Estadístico	Probabilidad
Dickey– Fuller Aumentado (ADF, por sus siglas en inglés)	-4,276997	0,0000
Residual varianza	0,008656	
Estimadores de la varianza: heterocedasticidad–autocorrelación– consistencia (HAC)	0,004272	

Fuente: elaboración propia

Se estimaron las elasticidades de crecimiento del PIB con respecto a las emisiones en el largo plazo para América Latina y cada uno de los diez (10) países estudiados. La ecuación de cointegración a largo plazo<sup>4</sup> es la siguiente:

$$\text{Log}(\text{Emisiones})_{it} = \alpha_i + \beta_i(\text{Log}(\text{PIB})_{it}) + E_{it} \quad [1]$$

Donde  $t = 1990, \dots, 2015$ ;  $i = 1, \dots, 10$ .

Para la estimación de las elasticidades del crecimiento a corto plazo y el mecanismo de corrección de errores (MCE) de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta \text{LOG}(\text{EMISIONES})_{it} = a_{it} + b_i(\text{resid}_i(t-1)) + c_i \Delta \text{LOG}(\text{PIB})_{it} + E_{it} \quad [2]$$

Donde  $\Delta \text{LOG}(\text{EMISIONES})_{it}$  son las primeras diferencias de la variable de log(emisiones);  $\Delta \text{LOG}(\text{PIB})_{it}$  son las primeras diferencias de la variable de log(PIB);  $a_{it}$  es el intercepto  $t$  se refiere al número de observaciones durante el periodo 1990-2015;  $i$  se refiere al número del país en el panel de datos;  $E_{it}$  = el error de estimación de la ecuación de la regresión.

<sup>4</sup> El trabajo de Martínez-Zarzoso y Bengoechea-Morancho (2004) propuso la siguiente ecuación de cointegración:  $\text{Log}(\text{Emisiones})_{it} = \alpha_i + \beta_1(\text{Log}(\text{PIB})_{it}) + \beta_2((\text{Log}(\text{PIB})_{it})^2) + \beta_3((\text{Log}(\text{PIB})_{it})^3) + E_{it}$   
Selden y Song (1994) propusieron una función cuadrática y adicionaron la densidad de población (Dit):  
 $\text{Log}(\text{Emisiones})_{it} = \alpha_i + \beta_1(\text{Log}(\text{PIB})_{it}) + \beta_2((\text{Log}(\text{PIB})_{it})^2) + \beta_3(\text{Log}(D)_{it}) + E_{it}$

Tabla 6. Resultados de elasticidad del ingreso a largo y corto plazo y mecanismo de errores<sup>5</sup>

País	Elasticidad del ingreso a largo plazo	Cambio en el ingreso a corto plazo	Mecanismo de corrección de errores
América Latina	0,908092 <sup>1/</sup>	0,717667 <sup>1/</sup>	-0,505380 <sup>1/</sup>
Argentina	0,936838 <sup>1/</sup>	0,730266 <sup>1/</sup>	-0,294090 <sup>3/</sup>
Bolivia	0,647828 <sup>1/</sup>	0,226438	-0,537326 <sup>1/</sup>
Brasil	0,884483 <sup>1/</sup>	0,827955 <sup>1/</sup>	-0,241660 <sup>2/</sup>
Chile	0,911182 <sup>1/</sup>	0,668338	-0,258725 <sup>3/</sup>
Colombia	0,902407 <sup>1/</sup>	1,109075 <sup>2/</sup>	-0,139640
Ecuador	0,928444 <sup>1/</sup>	0,857374	-1,175643 <sup>1/</sup>
México	0,941267 <sup>1/</sup>	0,627308 <sup>1/</sup>	-0,073726
Paraguay	0,861638 <sup>1/</sup>	0,869367 <sup>2/</sup>	-0,250870 <sup>2/</sup>
Perú	0,898505 <sup>1/</sup>	0,409444	-0,499329 <sup>2/</sup>
Uruguay	0,835760 <sup>1/</sup>	0,989108 <sup>3/</sup>	-0,654286 <sup>1/</sup>

<sup>1/</sup> Estadísticamente significativo al 1%

<sup>2/</sup> Estadísticamente significativo al 5%

<sup>3/</sup> Estadísticamente significativo al 10%

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 6, las elasticidades del ingreso a corto y largo plazo tienen un efecto positivo en las emisiones de dióxido de carbono para todos los países de América Latina. Las elasticidades a corto plazo oscilan entre 0,23 y 0,99 excepto Colombia, debido a que un incremento del 1% en el ingreso a corto plazo ocasiona un aumento del 1,1% en las emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, los cambios en el ingreso a corto plazo y su influencia en las emisiones de dióxido de carbono son estadísticamente significativas para Argentina, Brasil, Colombia, México, Paraguay y Uruguay, mientras que no lo son para Bolivia, Chile, Ecuador y Perú.

La influencia del ingreso a largo plazo en las emisiones de dióxido de carbono tiene un efecto positivo y son estadísticamente significativas al 1% para todos los países de América Latina. Las elasticidades del ingreso a largo plazo oscilan entre 0,64 y 0,94 para Bolivia y México respectivamente. Esto implica que un aumento en

<sup>5</sup> El modelo de corrección de error (MCE) incorpora información de las propiedades de cointegración entre las series temporales y permite, además de la unión causal del ajuste a corto plazo de las variables individuales per se, una unión causal entre dos o más variables proveniente de una relación de equilibrio (o cointegrada).

el ingreso a largo plazo de 1% ocasiona un incremento de 0,64 en las emisiones de dióxido de carbono para Bolivia y 0,94 para México.

De acuerdo con el planteamiento de Narayan y Narayan (2010), la CKA se verifica cuando la elasticidad del ingreso a largo plazo es menor que la elasticidad del ingreso a corto plazo; en el caso de los países analizados y el consolidado de la región se encuentra que las elasticidades a largo plazo han disminuido para Colombia y Uruguay en 18,6% y 15,5% respectivamente. En el caso de Paraguay la variación porcentual de las elasticidades presentó una leve reducción (-0,9%). Para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, México y Perú, y el consolidado de América Latina se encuentra que las elasticidades aumentan en el largo plazo con respecto al corto plazo.

En términos del mecanismo de corrección de errores, se encuentra que Bolivia, Ecuador y Uruguay son estadísticamente significativos al 1%, mientras que Brasil, Paraguay y Perú son significativos al 5%; Argentina y Chile son significativos al 10%, mientras que Colombia y México no son estadísticamente significativos. Esto sugiere que para la mayoría de los países existe una asociación a largo plazo entre el ingreso y las emisiones de dióxido de carbono.

Para el consolidado de la región se encuentra que: i) los resultados son estadísticamente significativos al 1%; ii) un aumento en el ingreso a corto plazo del 1% genera un incremento del 0,72% en las emisiones de dióxido de carbono; iii) un aumento en el ingreso a largo plazo del 1% ocasiona un incremento del 0,91% en las emisiones; iv) la elasticidad del ingreso a largo plazo es mayor que la de corto plazo; v) no se cumple la hipótesis de la CKA; vi) el mecanismo de corrección de errores y su relación con las elasticidades sugiere un alto grado de asociación en el largo plazo entre el ingreso y las emisiones de dióxido de carbono para la región.

En el panel de datos estudiado se encuentra que los esfuerzos por reducir las emisiones de dióxido de carbono de 1990 al 2015 resultaron insuficientes, debido a que el 70% de los países del panel presentaron una relación positiva entre el ingreso a largo plazo y las emisiones. Los casos de Colombia y Uruguay (20% de los países del panel de datos) muestran una asociación positiva, con tendencia decreciente para el largo plazo entre el ingreso y las emisiones, es decir que se puede presentar una función polinómica tipo CKA. El resto de los países (excluyendo Paraguay) presentan una asociación positiva con tendencia creciente en el largo plazo en dicha relación, sin presencia de la CKA.

Uruguay ha hecho esfuerzos significativos durante el período 2005-2015, especialmente para introducir energías renovables como hidroelectricidad, energía eólica

y energía fotovoltaica que permiten una reducción de los gases efecto invernadero, a favor de una matriz de abastecimiento energético sostenible (Agencia EFE, 2016).

En materia de gases efecto invernadero Colombia se ha visto beneficiada porque en su matriz energética, la hidroelectricidad para el 2016, representó el 66,06% de la capacidad efectiva de las centrales de producción de energía eléctrica y las políticas de sustitución de leña por tecnologías más limpias en áreas rurales (Conpes, 1995; XM, 2017).

No se debe olvidar que para la formulación de políticas económicas en América Latina, en relación con la reducción de los niveles de emisiones, influyen otros factores, como el grado de apertura de las economías, estructura de las economías (indicador en las industrias que relacione servicios sostenibles ambientalmente y servicios contaminantes), nivel de democracia, progreso tecnológico, voluntad política para reducir las emisiones, entre otros (Mazurek, 2011).

Mazurek (2011) señala que los países desarrollados con altos ingresos presentan bajas tasas de crecimiento económico a largo plazo, por lo que el efecto tiempo en calidad ambiental predomina sobre el efecto escala, en consecuencia, los resultados de los esfuerzos por reducir las emisiones mejoran. Por otra parte, en los países de bajos ingresos el efecto escala predomina sobre el efecto tiempo, lo cual conlleva un deterioro de la calidad ambiental.

### **3. CONCLUSIONES**

La relación entre crecimiento económico y emisiones de CO<sub>2</sub> para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, México, Perú y el consolidado de la región durante el período 1990-2015 no se ajusta a la CKA debido al aumento de las elasticidades del ingreso a largo plazo con respecto al corto plazo. Es decir que el 70% de los países del panel estudiado presentan una relación positiva y creciente entre el ingreso y las emisiones.

El caso de Colombia y Uruguay podrían evidenciar la presencia de la CKA debido a la disminución de las elasticidades del ingreso a largo plazo con respecto al corto plazo. Sin embargo, el mecanismo de corrección de errores para el caso de Colombia y México no es estadísticamente significativo, lo cual podría denotar que la relación entre las emisiones y el crecimiento económico es divergente en el largo plazo.

La hipótesis de trabajo considera que se cumple la CKA –entendida como una menor elasticidad en el largo plazo con respecto a la elasticidad en el corto plazo– para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú, Uruguay y el consolidado de los países de la región durante el período 1990-2015;

sin embargo, los resultados sugieren que para nueve (9) países, así como para el consolidado de la región, no se cumple la CKA.

Los esfuerzos investigativos para explicar las emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina deben tener en cuenta variables de gran relevancia como el grado de apertura de las economías, la voluntad política de reducir las emisiones, los avances en la introducción de tecnologías limpias y la estabilidad democrática de los países, que aporten mayor capacidad explicativa del comportamiento de las emisiones en la región. A su vez, se deben estudiar los países de la región con funciones que vayan más allá de la CKA, que tengan en cuenta el efecto escala por aumentos en la producción, el consumo y el efecto tiempo en la introducción de tecnologías limpias de mayor eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia EFE (2016). El 56,5 % de la energía eléctrica de Uruguay proviene de fuentes renovables. Uruguay, p. 22.
- Antonakakis, Nikolaos; Chatziantoniou, Ioannis y Filis, George (2017). Energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth: An ethical dilemma. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 68, p. 808-824. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>
- Azomahou Théophile, Laisney François y Nguyen Van, Phu. (2005). Economic Development and CO<sub>2</sub> Emissions: A Nonparametric Panel Approach Discussion. Centre for European Economic Research, Paper No. 05-56, July 2005, 35p.
- Cole, Matthew, Rayner, Anthony y Bates, J. M (1997). The Environmental Kuznets Curve: an Empirical Analysis. En: *Environment and Development Economics*, Vol. 2, No. 4, p. 401-416. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355770X97000211>
- CONPES-Consejo Nacional de Política Económica y Social (1995). Estrategias y acciones para fomentar el uso eficiente y racional de energía. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 14p.
- De Bruyn, Sander; van den Bergh; Jeroen y Opschoor, Johannes (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. En: *Ecological Economics*, Vol. 25, No. 2, p. 161-175. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)
- Dietz, Thomas y Rosa, Eugene (1997). Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions. En *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 94, No. 1, p. 175-179. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Fernández, Octavio; Francois, Joseph; Oberdabernig, Doris y Tomberger, Patrick (2017). Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: An Assessment Based. En: *Ecological Economics*, Vol. 135, p. 269-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.004>
- Grossman, Gene y Krueger, Alan (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, National Bureau of Economic Research. Working Paper, No. 3914, 57p.

- Martínez-Zarzoso, Inmaculada y Bengochea-Morancho, Aurelia (2004). Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO<sub>2</sub>. En: *Economics Letters*, Vol. 82, No. 1, p. 121-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2003.07.008>
- Mazurek, Jiří (2011). Environmental Kuznets Curve - a Tie between Environmental Quality and Economic Prosperity. En: *E a M Ekonomie a Management*, Vol. 14, No. 4, p. 22-31.
- Narayan, Paresh y Narayan, Seema (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from. En: *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, p. 661-666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- Panayotou, Theodore. (1995). Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. En Ahmed Iftikhar y Doeleman, Jacobus (eds.). *Beyond Rio: The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World (ILO Studies Series)*. New York, United States of America: St. Martin Press, p. 13-36.
- Perman Roger y Stern, David (1999). The Environmental Kuznets Curve: Implications of Non-Stationarity. Camberra, Australia: Australian National University, 42p.
- Ravallion, Martin; Heil, Mark y Jalan, Jyotsna (2000). Carbon emissions and income inequality. En: *Oxford Economic Papers*, Vol. 52, No. 4, p. 651-669. doi: <https://doi.org/10.1093/oep/52.4.651>
- Selden, Thomas y Song, Daqing (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? En: *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, No. 2, p. 147-162. doi: <https://doi.org/10.1006/jeeem.1994.1031>
- Shafik, Nemat y Bandyopadhyay, Sushenjit (1992). Economic growth and Environmental Quality: Time Series and Cross Section Evidence. Washington, United States of America: World Bank, 55p.
- XM (2017). Informe de operación del SIN y Administración del Mercado, Colombia, 14p.
- Yang, Guangfei; Sun, Tao; Wang, Jianliang y Li, Xianneng (2015). Modeling the nexus between carbon dioxide emissions and economic growth. En: *Energy Policy*, Vol. 86, p. 104-117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.031>