

Análisis de cointegración entre el crecimiento económico y deterioro medio-ambiental. Un análisis empírico del desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe

Cointegration analysis between economic growth and environmental deterioration. An empirical analysis of sustainable development in Latin America and the Caribbean

VÍCTOR QUINDE ROSALES¹
GABRIELA VACA PINELA²
FRANCISCO QUINDE ROSALES³
LOURDES LAZO VACA⁴

¹ Economista agrícola con maestría en Economía Agraria, Director del Instituto de Investigaciones de Economía Agrícola y Desarrollo Rural, docente de la Facultad de Economía Agrícola de la Universidad Agraria del Ecuador. vquinde@uagraria.edu.ec

² Economista agrícola de la Facultad de Economía Agrícola de la Universidad Agraria del Ecuador. gvacap@hotmail.com

³ Economista agrícola de la Facultad de Economía Agrícola de la Universidad Agraria del Ecuador. franciscoquinderosales@outlook.es

⁴ Economista de la Facultad de Ciencias Sociales y Derecho de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte. maylima22@hotmail.com

Resumen

El presente artículo, de carácter investigativo con razonamiento inductivo y paradigma empírico-analítico, evalúa la relación existente entre el producto interno bruto per cápita (PIB per cápita) y el dióxido de carbono (CO₂) en los grupos de países de América Latina y el Caribe, que son considerados como economías en desarrollo en un periodo de análisis comprendido entre 1960 y 2011. Se utilizó la prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller aumentada (DFA), se generó un modelo de vectores autorregresivos (VAR), se realizó la prueba de causalidad de Granger y se desarrolló la prueba de cointegración de Johansen. Los resultados demuestran la no estacionariedad de las variables en estudio, se obtuvo un modelo VAR de dos variables con un número de rezagos óptimo de catorce [(VAR2(14)] al cual se le realizó la prueba de causalidad demostrando una bidireccionalidad por parte del PIB per cápita al CO₂ y viceversa; dicho resultado fue corroborado estableciendo que las variables se mueven conjuntamente a lo largo del tiempo y las diferencias entre ellas son estables, ya que al menos existe un vector o relación de cointegración.

Palabras claves: crecimiento económico, desarrollo sostenible, distribución de la renta, economía del medio ambiente, evaluación de los efectos en el medioambiente.

Abstract

This article is an inductive argumentation and an empirical-analytical paradigm that evaluates the existing relationship between Gross Domestic Product (GDP) per capita and the Carbon Dioxide (CO₂) in country groups of Latin America and the Caribbean considered developing economies in a period of time from 1960 to 2011. It was developed an Augmented Dickey-Fuller unit root (ADF), a Granger Causality Test and a Johansen Cointegration test. The results evidence the non-stationary of constrains in both countries. It was obtained a VAR model with two variables with a number of 14 lags - VAR2 (14) which were tested for causality by demonstrating a bidirectionality of GDP per capita to CO₂ and vice versa, and it was confirmed that variables move through the time without variations. It means they are stable, and that in both cases there is at most a vector or cointegration relationship.

Key words: Economic growth, Sustainable development, Income distribution, Environmental economics, Environmental impact assessment

JEL: F43, O01, O15, Q05, Q51.

1. Introducción

Urteaga (2009) manifiesta que el término desarrollo sostenible, a pesar de tener múltiples interpretaciones, se encuentra omnipresente en el pensamiento y las acciones de los actores involucrados en la actividad medioambiental y de desarrollo. Podemos afirmar que el desarrollo sostenible bajo el criterio de Brundtland (1987) requiere de un sistema de producción que presente la idea de preservar el medio ambiente.

A pesar de esto, Bermejo (2014) expone el mal uso que dan los Estados al término desarrollo sostenible, el cual defiende el crecimiento económico ilimitado, conforme a estrategias que dejan de lado la conservación de la vida social, natural y diversa. Beckerman (1972) señala como, a pesar de que el crecimiento económico genera un deterioro en el medio ambiente en la etapa inicial, a largo plazo es razonable que los países deban enriquecerse para tener políticas medioambientales adecuadas. Esta idea de que el crecimiento continuo va en el sentido de la protección del medioambiente es desarrollada por los neoclásicos desde 1970 hasta llegar a los estudios de Grossman y Krueger (1993;1995), en los cuales establecen, con una base empírica, una correlación entre el crecimiento económico y las evoluciones medioambientales, donde las emisiones contaminantes aumentan con el incremento de la renta per cápita, antes de decrecer.

Medina y Ayaviri (2017) manifiestan que el mencionado pensamiento asienta sus bases en relación con las investigaciones de la década de los cincuenta donde se estudiaba el crecimiento económico y la inequidad en la distribución de la renta (Ahluwalia, 1976; Alesina y Rodrik, 1994; Barro, 2000; Galindo, 2002; Álvarez, 2007; Núñez, 2016), principalmente con el aporte de Kuznets (1955), el cual entiende, según Araújo y Cabral (2015), que crecimiento económico dista de ser la única y más precisa medida de bienestar; en una de sus investigaciones sobre la relación que presenta el crecimiento económico (medido a través del PIB per cápita⁵) y la distribución del ingreso, se postula que las variables mencionadas presentan una relación en forma de U invertida. En consecuencia, con esto se entiende que el aumento del ingreso a largo plazo genera una menor desigualdad (Correa, Vasco y Pérez, 2005).

Ante lo expuesto, el presente estudio pretende establecer si la emisión total de CO₂⁶ (dióxido de carbono) muestra una relación de cointegración con el PIB (producto interno bruto) per cápita⁷ a lo largo del ciclo económico para el caso de América Latina y

⁵ Ingreso per cápita o renta per cápita es un indicador económico que mide la relación existente entre el nivel de renta de un país y su población.

⁶ Cantidad total de CO₂ en 1000 toneladas métricas emitidas por el consumo de todo tipo de combustibles fósiles.

⁷ PIB per cápita en dólares constantes del 2000. Se ha tenido en cuenta la inflación, pero no las diferencias en el costo de la vida entre los países.

el Caribe. Entendiendo que estos convergen en una tendencia común en el largo plazo en mencionado grupo de países. El presente análisis empírico busca presentar nuevos aportes frente a la disyuntiva existente entre crecimiento económico y el medio ambiente en países en vías de desarrollo.

El diseño de la investigación plasmado en el documento busca caracterizar la relación de causalidad existente entre el crecimiento económico y el deterioro medio ambiental en países en vías de desarrollo, bajo la teoría del desarrollo sostenible mediante la revisión de literatura de autores que han desarrollado estudios similares, para luego establecer el marco metodológico que engloba el desarrollo del estudio empírico. Posteriormente, los resultados de la investigación se manifestarán ante la presentación del modelo de vectores autorregresivos que evidencie la simultaneidad de los índices antes mencionados sumado al test de Granger (1969), el cual establece la causalidad existente y finalmente la prueba de Johansen para determinar la existencia de cointegración entre las variables.

Las conclusiones contienen el análisis del entorno en el cual se desarrollaron los resultados de la investigación. La referencia alberga el listado de las obras citadas en el presente documento y que han sido usadas para bosquejar el estudio y los resultados del mismo.

2. Revisión de la literatura

La teoría de desarrollo sostenible sustentada en la curva medioambiental de Kuznets explora la relación existente entre el crecimiento económico y la calidad ambiental, estableciendo como idea que la calidad del medio ambiente mejora con el incremento en el ingreso (Correa et al., 2005).

Con base en mencionada premisa se han realizado una serie de investigaciones, entendiendo esto como una evidencia empírica que no determina un solo tipo de relación existente entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental en cada uno de los países estudiados por los autores.

Grossman y Krueger (1992) situó su investigación en México, buscando establecer una relación entre el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y el nivel de contaminación bajo la siguiente hipótesis: la reducción en las barreras comerciales afecta al medio ambiente, pues ampliando la escala de actividad económica, se altera la composición de su actividad, y provoca un cambio en las técnicas de producción. Utilizó medidas comparables de SO_2 ⁸ y humo con el PIB per cápita en una muestra representativa de áreas urbanas ubicadas en 42 países.

⁸ Dióxido de Azufre

Stokey (1998) esboza un modelo teórico con una relación entre el ingreso per cápita y la calidad del medio ambiente, mostrando que los esquemas de impuestos y cupos presentan una ventaja sobre la regulación directa ya que estos proporcionan los incentivos correctos para la acumulación de capital. Jaeger y College (1998) describieron que el daño ambiental primero aumentará y luego caerá a medida que aumentan los ingresos; el autor explica que, en la mayoría de los entornos naturales, dos tipos distintos de servicios, uno rival o privado y otro no rival o público, crean una asimetría fundamental en la agregación de valores.

Cavlovic, Baker, Berrens y Gawande (2000) mediante el uso del metaanálisis evaluaron 25 estudios, y con ello obtuvieron 121 observaciones para su estudio empírico; así demuestran que las elecciones metodológicas pueden influir significativamente en los resultados. Heil y Selden (2001) establecen la relación histórica que tienen las emisiones de carbono y el PIB, al incluir en el estudio un modelo de proyección del PIB y de la población que establezca el horizonte de las emisiones, y adicionar la variable precio del petróleo.

Soytas, Sari y Ewing (2007) evalúan la relación causal entre el ingreso, el consumo de energía, las emisiones de carbono, mano de obra y la formación bruta de capital fijo de los datos obtenidos por Estados Unidos. La investigación demuestra que no existe una relación causal entre los ingresos y las emisiones de carbono en el largo plazo, sino más bien que el uso energía presente en la mencionada relación, manifiesta que el crecimiento del ingreso no puede convertirse en una solución para los problemas del medio ambiente.

Nasir y Ur Rehman (2011) emplean el método de cointegración de Johansen (1988) para investigar la relación entre las emisiones de carbono, los ingresos, el consumo de energía y el comercio internacional de Pakistán; los autores encuentran que existe una relación cuadrática a largo plazo entre las emisiones de carbono y los ingresos. Goldman (2012) utiliza el metaanálisis para comprender mejor los factores específicos que afectan la relación entre crecimiento económico y la calidad ambiental, utilizando datos de panel y datos globales; el autor establece que no hay evidencia estadísticamente significativa que indique un aumento o disminución de la probabilidad de encontrar una curva de Kuznets.

Fosten, Morley y Taylor (2012) recurren a la metodología de cointegración de umbral no lineal y un modelo VEC para el caso de Reino Unido; los autores evidencian que no existe una relación inversa del CO₂ per cápita, emisiones de SO₂ y el PIB.

La literatura citada manifiesta que para establecer la relación existente entre el crecimiento económico de un país y su deterioro medio ambiental se han desarrollado

estudios empíricos y diversas pruebas estadísticas, siendo aplicadas sobre datos de panel y series de tiempo. Estas técnicas se han usado tanto con grupos de países como en casos individuales.

3. Materiales y métodos

La presente investigación se enmarca en un tipo de razonamiento inductivo con aplicación de pruebas econométricas para medir la probabilidad de los argumentos establecidos en función a la causalidad del CO₂⁹ y PIB per cápita¹⁰ que representa América Latina y el Caribe. Se esboza como forma de desarrollo de la investigación un proceso unimétodo con un paradigma empírico-analítico según Bacon (tal como se citó en Duque, 2015), que permite reflejar la realidad de la forma más fiel y neutral posible de la investigación realizada.

Para el diseño de investigación del documento se utilizó una base de datos de serie temporales de frecuencia anual con un periodo de evaluación de 1960 al 2011 de las variables homologadas CO₂ y PIB per cápita de cada uno de los países en estudio, cuya base fue obtenida del CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) y el Banco Mundial, respectivamente. La propuesta metodológica de la investigación propone un análisis que determine la estacionariedad de las variables mediante el uso de la prueba Dickey-Fuller aumentada (DFA) para evitar obtener resultados espurios¹¹ en regresiones con series de tiempo no estacionarias.

La prueba de Dickey-Fuller (DF) simula los valores críticos de una selección de distintos tamaños muestrales entendiendo que el proceso estocástico subyacente a los datos es un modelo autorregresivo - AR(1)¹² (Novales, 1998). La prueba DFA contempla otros esquemas de autocorrelación, evitando el incumplimiento de la condición de ruido blanco¹³ para los residuos.

Stock y Watson (2012) mencionan que el contraste DFA para una raíz unitaria autorregresiva contrasta la hipótesis nula H0: $\delta = 0$ frente a la hipótesis alternativa H1: $\delta < 0$ en la siguiente regresión

$$\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad [1]$$

⁹ Emisiones totales de CO2 de los combustibles fósiles (1000 toneladas métricas).

¹⁰ Ingresos por persona (US \$ 2.000 fijo).

¹¹ Espurio es la relación estadística de dos o más variables que aun así no poseen una relación de causalidad o coincidencia.

¹² Modelo autorregresivo de un rezago.

¹³ Señal aleatoria que presenta valores en dos tiempos diferentes que no guardan correlación estadística.

Entendiendo que:

H_0 . La variable es no estacionaria; tiene raíz unitaria

H_1 . La variable es estacionaria; no tiene raíz unitaria

El DFA no posee una distribución estándar, por lo cual no puede utilizar los valores críticos habituales de la distribución normal para su contraste de raíz unitaria, en su lugar debe utilizarse un conjunto particular de valores críticos con base en la distribución del estadístico DFA con hipótesis nula (Stock y Watson, 2012). Wooldridge (2010) explica que ante el hecho de que la hipótesis alternativa de estacionariedad implica que en la ecuación antes descrita sea $\delta < 0$, el contraste es unilateral. Por lo tanto, el valor de t-Statistic debe ser menor (más negativo) que los valores críticos unilaterales para rechazar H_0 o hipótesis nula.

Adicionalmente, MacKinnon (1996) estimó un conjunto de valores críticos los cuales permiten calcular los valores críticos del test DFA para distinto tamaño muestral y número de variables, entendiendo que dicho valor debe ser menor al 5 % o 0,05 para rechazar a la hipótesis nula.

Para establecer una relación entre el CO_2 per cápita y el PIB per cápita de cada uno de los países, se usa el modelo de vectores autorregresivos (VAR). Sims (como se citó en Gujarati y Porter, 2010) argumenta la existencia de simultaneidad entre el conjunto de variables a tratarse en igualdad de condiciones sin distinción de variables exógenas ni endógenas. Se denomina vector autorregresivo ante la existencia de un valor rezagado de la variable dependiente y la existencia de un vector de dos o más variables.

Novales (2011) describió que la aplicación del VAR presenta su utilidad ante la existencia de coincidencias entre un grupo de variables, esas relaciones deben ser generadas a lo largo de un determinado número de períodos (Pérez et al., 2014).

Para la aplicación del modelo VAR, se toman en consideración las siguientes ecuaciones:

$$M_{1t} = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j M_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j R_{t-j} + \mu_{1t} \quad [2]$$

$$R_t = \alpha' + \sum_{j=1}^k \theta_j M_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j R_{t-j} + \mu_{2t} \quad [3]$$

Se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. La relación existente entre las variables es menor a un año siendo considerada de corto plazo.

Hipótesis 2. La relación existente entre las variables es mayor a un año siendo considerada de largo plazo.

La existencia de una relación entre variables no específica como tal un sinónimo de causalidad ni su tipo de orientación. Es más, aún persiste según manifiestan Gujarati y Porter (2010) un conflicto de índole filosófico, con el cual se argumenta que el futuro no puede predecir el pasado. Bajo este criterio la prueba de Granger interpreta la causalidad como si una variable X causa a la variable Y, en términos de Granger; así, las modificaciones en X deben augurar cambios en Y, y viceversa.

En términos de regresión podemos argumentar que, si incluimos valores pasados o rezagos de X en la regresión de Y, contribuiría a una predicción de Y más significativa, ante esta premisa podemos manifestar que X, en términos de Granger, causa a Y. Stock y Watson (2012) coincidieron con esta premisa al decir que X es un predictor útil de Y.

Wooldridge (2010) agregó que la causalidad de Granger es una noción limitada donde los valores del pasado de una variable explican el futuro de otra, a diferencia de la causalidad contemporánea que busca establecer si una variable es exógena o endógena para la otra.

El test de Granger plantea las siguientes hipótesis.

Hipótesis 1. Causalidad unidireccional de CO_2 a PIB per cápita; rechazo de la hipótesis 1.

Hipótesis 2. Causalidad unidireccional de PIB per cápita a CO_2 ; rechazo de la hipótesis 2.

Hipótesis 3. Causalidad bidireccional entre las variables; ambas hipótesis son rechazadas.

Hipótesis 4. Variables independientes; ambas hipótesis no son rechazadas.

Para probar las hipótesis se toma en cuenta la probabilidad de Fischer (Prob). Si p valores se encuentra en el valor mínimo de rechazo, menor al 5 % o 0,05, se rechaza una de las hipótesis. Bajo este criterio podemos describir los posibles resultados (tabla 1).

■ **Tabla 1. Contraste de hipótesis, prueba de Granger**

Hipótesis nula	Hipótesis 1	Hipótesis 2	Hipótesis 3	Hipótesis 4
CO2 no causa a PIB per cápita	< 5 %	> 5 %	< 5 %	> 5 %
PIB per cápita no causa a CO2	> 5 %	< 5 %	< 5 %	> 5 %

Granger et al. (1969) definen a la cointegración bajo la premisa de que X_t , e Y_t son integradas de orden uno. Si para algún coeficiente θ , $Y_t - \theta X_t$ es integrada de orden cero, entonces X_t , e Y_t , se dice que están cointegradas. El coeficiente θ se denomina coeficiente de cointegración. Si X_t , e Y_t están cointegradas, entonces tienen la misma o común tendencia estocástica.

Stock y Watson (2012) argumentan como definición de cointegración cuando dos o más series de tiempo con tendencias estocásticas pueden evolucionar juntas de forma tan estrecha a largo plazo que puede parecer que tienen el mismo componente tendencial; es decir, que parece que tengan una tendencia común.

Córdova (2014) expresa que la cointegración de Johansen (1988) es un método de aplicación a series tiempo que presentan presunciones de cointegración. De aplicación a sistemas de ecuaciones y basado en el modelo VAR.

Considere un VAR de orden p:

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Donde Y_t es un vector de k variables integradas de orden 1, y ε_t es un vector de innovación. Se puede reescribir el VAR como:

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Gamma_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t$$

Donde,

$$\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I_k$$

$$\Gamma = \sum_{j=i+1}^p A_j$$

Bajo el criterio de que la matriz de coeficiente Π tiene rango reducido $r > k$, genera la presencia de matrices α y β de dimensión $k * r$, cada una de rango r, tal es que $\Pi = \alpha\beta'$ y $\beta'Y_t$ es estacionario. Siendo β el vector de cointegración y r el rango de cointegración, el test de Johansen (1988) estima la matriz a partir de un VAR para posteriormente probar las hipótesis nulas correspondientes al rango reducido de dicha matriz. El test de

Johansen (1988) determina cuál es el rango de cointegración de un vector de variables I(1). De encontrarse el mencionado orden de integración, siempre que exista una ecuación de cointegración entre ellas, es posible establecer una relación a largo plazo entre las variables, dejando la posibilidad de estimar un modelo de corrección de error.

Para el análisis de los datos que persigue el presente documento se utilizó como *software* econométrico el Eviews 9, el cual presentó los resultados de los contrastes para el desarrollo de los resultados.

4. Resultados y discusión

La relación entre el dióxido de carbono (CO₂) y el producto interno bruto (PIB) per cápita, para el caso de América Latina y el Caribe presenta una pendiente positiva, comportamiento que concuerda con los aportes empíricos de Correa et al. (2005) (figura 1).

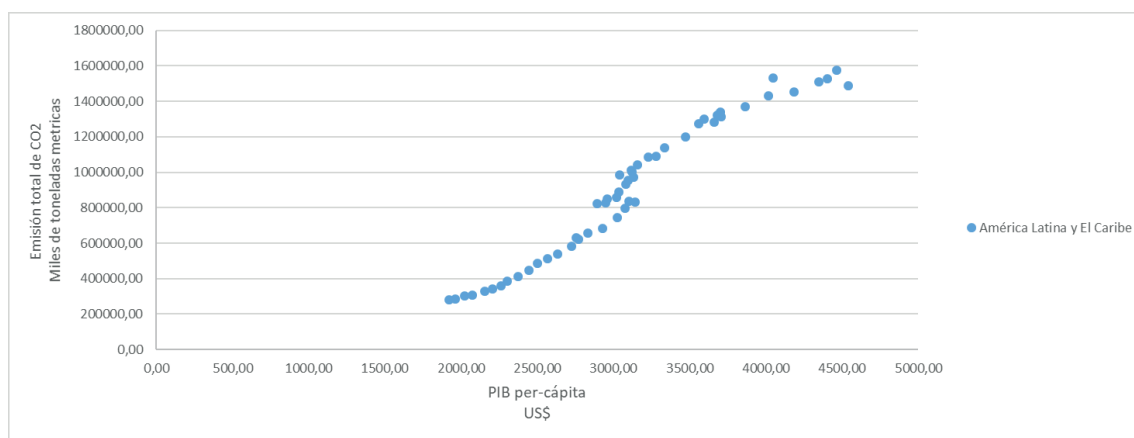


Fig. 1. Relación entre CO₂ y el PIB per cápita. América Latina y el Caribe

Para determinar el criterio de tendencia determinística o estocástica se realizó la prueba de Dickey-Fuller aumentada (DFA). Los resultados de esta prueba muestran que los indicadores aprueban la hipótesis nula, indicando que tanto el CO₂ como el PIB per cápita son series que tienen raíz unitaria siendo estas no estacionarias (tabla 2).

Tabla 2. Prueba de raíz unitaria CO₂ y PIB per cápita

Grupo	Variable	Prueba DFA		Prob*
		Test critical values: 5 % level	t-Statistic	
América Latina y el Caribe	CO ₂	-2.919952	-0.094370	0.9443
	PIB per cápita	-2.919952	-1.080856	0.7166

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Para el proceso de estimación del vector autorregresivo (VAR) es necesario establecer la longitud máxima de rezago sobre el cual se determine la relación de las variables CO₂ y PIB per cápita entendiendo este criterio como el rezago óptimo. Para ello utilizaremos la prueba de razón de verosimilitud, los criterios de error de predicción final y los estadísticos de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn. Estos criterios presentan una discrepancia al momento de establecer el rezago; al momento de establecer como rezago óptimo en el caso de América Latina y el Caribe este varía entre los rezagos 2, 3, 9 y 14 (tabla 3).

**Tabla 3. Criterios de selección del orden de retrasos – VAR
CO₂ PIB per cápita. América Latina y el Caribe**

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-777.5223	NA	2.25e+15	41.02749	41.11368	41.05815
1	-675.2612	188.3756	1.28e+13	35.85585	36.11442	35.94785
2	-662.5528	22.07257	8.12e+12	35.39751	35.82846*	35.55084
3	-657.0589	8.963709	7.54e+12*	35.31889	35.92221	35.53355*
4	-655.7197	2.044067	8.76e+12	35.45893	36.23463	35.73492
5	-651.8561	5.490299	8.97e+12	35.46611	36.41419	35.80343
6	-651.8186	0.049396	1.13e+13	35.67466	36.79512	36.07331
7	-650.3586	1.767334	1.34e+13	35.80835	37.10118	36.26833
8	-648.4587	2.099844	1.56e+13	35.91888	37.38409	36.44019
9	-638.3809	10.07781*	1.21e+13	35.59900	37.23658	36.18164
10	-635.4088	2.659311	1.38e+13	35.65309	37.46306	36.29706
11	-628.4772	5.472289	1.32e+13	35.49880	37.48114	36.20410
12	-619.2194	6.334256	1.15e+13	35.22208	37.37679	35.98871
13	-610.5310	5.030151	1.08e+13	34.97532	37.30241	35.80328
14	-602.6341	3.740617	1.13e+13	34.77022*	37.26969	35.65951

* Indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5 % level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Para el desarrollo del presente documento destacamos como modelo adecuado el rezago establecido por el criterio de información de Akaike que se presenta en el décimo cuarto rezago. Entendiendo que el rezago óptimo del VAR entre el CO₂ y el PIB per cápita es de catorce rezagos — VAR2(14) —, se determina que los indicadores presen-

tan respuesta a los *shocks* entre variables y entre sí mismas propagándose en el largo plazo.

Para establecer la causalidad se realizó una prueba de Granger cuyos resultados muestran una causalidad bidireccional rechazando las hipótesis nulas que el PIB per cápita no causa en el sentido de Granger al CO₂ y que el CO₂ no causa en el sentido de Granger al PIB per cápita (tabla 4). Esto se evidencia al observar los valores de los *p values* en la tabla.

Tabla 4. Prueba de causalidad de Granger – VAR CO₂ y PIB per cápita

Grupo	Hipótesis nula	Test de Granger		
		Chi-sq	Df	Prob.
América Latina y el Caribe	CO2 no causa a PIB per cápita	35.92645	14	0.0011
	PIB per cápita no causa a CO2	26.56334	14	0.0219

La tabla de diálogo resumen indica las cuatro especificaciones de cointegración tanto en la prueba de la traza como en la del maximum Eigenvalue, siendo estas la no tendencia determinística en los datos, la de tendencia determinística lineal en los datos y la tendencia determinística cuadrática en los datos; para el caso de estudio se seleccionará solo intercepto en la ecuación de cointegración (CE) y no tendencia en el VAR para la de tendencia determinística lineal en los datos en ambos casos (tabla 5).

Tabla 5. Test de cointegración de Johansen-resumen de supuestos

Grupo	Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
América Latina y el Caribe	Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
	Trace	1	2	2	2	2
	Max-Eig	1	2	2	2	2

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999).

El test de Johansen presenta como criterio con un nivel del 5 % de confianza se rechaza la hipótesis nula de no cointegración en favor de una relación de cointegración y de la prueba de máximo EigenValue concluyendo que existe al menos un solo vector o relación de cointegración (tabla 6).

Tabla 6. Test de cointegración de Johanse - CO₂ y PIB per cápita de 14 rezagos. América Latina y el Caribe

Número de ecuaciones de cointegración bajo Ho	Prueba de rango de cointegración sin restricciones de traza			
	Valor propio	Estadístico de la traza	Valor crítico 0,05	P-valor*
Ninguna	0.283473	13.11502	12.32090	0.0368
Cuando más 1	0.020899	0.781476	4.129906	0.4336
Número de ecuaciones de cointegración bajo Ho	Prueba de rango de cointegración sin restricciones del máximo de valor propio			
	Valor propio	Estadístico del máximo de valor propio	Valor crítico 0,05	P-valor*
Ninguna	0.283473	12.33355	11.22480	0.0318
Cuando más 1	0.020899	0.781476	4.129906	0.4336

5. Conclusiones

Los resultados siguen contribuyendo al desarrollo empírico de la relación existente entre desarrollo económico y sus impactos medioambientales ante la diversidad de respuestas encontradas en otros estudios. Es necesario generar otros estudios sobre el tema con diversas metodologías que fortalezcan el desarrollo empírico en favor del mismo.

El grupo de países denominados América Latina y el Caribe presenta una relación entre el CO₂ y el PIB per cápita con tendencia positiva.

Establecer la relación entre el producto interno bruto per cápita (PIB per cápita) y las emisiones totales de dióxido de carbono (CO₂) representa un interés para establecer políticas públicas que reorienten la emisión de CO₂ y el desarrollo de tecnologías limpias.

Es necesario evaluar otras variables que forman parte del proceso de deterioro ambiental como es el caso de deforestación, contaminación de agua, suelo y aire, que determinen de forma individual las mejoras regulatorias a realizar.

Al estudiar la relación entre el CO₂ y el PIB per cápita para el caso de América Latina y el Caribe se determinó que la relación de ambos indicadores es de tendencia positiva, no estacionaria. Por ello fue necesario evaluar su relación bajo la prueba de Johansen, de acuerdo con el test de cointegración, el rango de cointegración de las variables analizadas es $r = 1$ bajo la especificación de intercepto en la ecuación de cointegración, y

tendencia determinística lineal en los datos con 14 rezagos en los términos VAR en diferencias. Bajo el criterio de causalidad se determinó que según la prueba de Granger el modelo presenta bidireccionalidad en términos de causalidad de Granger del PIB per cápita al CO₂ y viceversa.

El estudio demuestra que existe una relación empírica entre los niveles de contaminación ambiental de los países evaluados y su alcance en términos de desarrollo económico.

Los resultados siguen contribuyendo al desarrollo empírico del tema ante la diversidad de respuestas encontradas en otros estudios. Es necesario generar otros estudios sobre el tema con diversas metodologías que fortalezcan el desarrollo empírico en favor del mismo.

Referencias

- Ahluwalia, M. (1976). Inequality, poverty and development. *Journal of Development Economics*, (3), 307-342.
- AHMED, K., SHAHBAZ, M., QASING, A. & Long, W. (2014). The linkages between deforestation, energy and growth for environmental degradation in Pakistan. *Ecological Indicators*, (49), 95 – 103.
- ALESINA, A. & RODRIK, D. (1994). Distributive politics and economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 109, (2), 465-490.
- ÁLVAREZ, A. (2007). Distribución de la renta y crecimiento económico. *Información Comercial Española*, (ICE): *Revista de Economía*, 835, 95-10.
- ARAÚJO, J. A., & CABRAL, J. (2015). Relación entre la desigualdad de la renta y el crecimiento económico en Brasil: 1995-2012. *Problemas del Desarrollo*, 46, (180), 129-150.
- BARNETT, H. J. (1979). Scarcity and growth revisited. In V. R. Smith (Ed.), *Scarcity and Growth Reconsidered* (pp. 170 -187). Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- BARRO, R. (2000). Inequality and growth in a panel of countries. *Journal of Economic Growth*, (5), (1), 5-32.
- Beckerman, W. (1972) Economists, scientists, and environmental catastrophe, *Oxford Economic Papers*, Vol. 24, No. 3.
- BERMEJO, R. (2014). Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis, Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional, Vol. 1
- BRADFORD, D., SCHLIECKERT, R. & Shore, S. H. (2000). The Environmental Kuznets Curve: Exploring a Fresh Specification. National Bureau of Economic Research. *NBER Working Paper* No. 8001.
- BRUNDTLAND, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future*. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20111201061947/http://worldinbalance.net/pdf/1987-brundtland.pdf>.

- BRUYN, S. M., VAN DEN BERGH, J. C. J. M. & Opschoor, J. B. (1998). Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. *Ecological Economics*, Vol. 25, Pag. 161-175.
- CAVLOVIC, T., BAKER, K., BERRENS, R. & GAWANDE K. (2000). A Meta-Analysis of Environmental Kuznets Curve Studies, *Agricultural and Resource Economics. Review*, 29, 32-42.
- CORDOVA, Pamela. (2014). Sistema de Pensiones y Profundidad Financiera: Evidencia Empírica de Cointegración para el caso boliviano. *Investigación y Desarrollo*. Vol. 1, Número 14, Pág. 22 – 43
- CORREA, F., VASCO, A. & PÉREZ, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia Grupo de Economía Ambiental (GEA). *Semestre Económico*, 8 (15), 13-30.
- DINDA, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, Vol. 49, Pag. 431-455.
- DUQUE, Edison J. Seminario Metodología de la Investigación, Universidad Nacional de Colombia, Año 2015.
- EKINS, P. (1997). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence, *Environment and Planning A*, 29, 805-830.
- Falconí, F., Burbano, R. & Cango, P. (2016). *La discutible curva de Kuznets*. Flacso. Recuperado de <http://www.flacsoandes.edu.ec/agora/62767-la-discutible-curva-de-kuznets>.
- FOSTEN, J., MORLEY, B. & TAYLOR, T. (2012). Dynamic misspecification in the environmental Kuznets curve: Evidence from CO2 and SO2 emissions in the United Kingdom. *Ecological Economics*, Vol. 76, Pag. 25-33.
- FRIEDL, B. & GETZNER, M. (2003). Determinants of CO2 Emissions in a small open Economy. *Ecological Economics*, Vol. 45, Pag. 133-148.
- GALIDNO, M. A. (2002). Distribución de la renta y crecimiento económico. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, (35), 473-502
- GOLDMAN, B. (2012). *Meta-Analysis of Environmental Kuznets Curve Studies: Determining the Cause of the Curve's Presence*. *The Park Place Economist*, Vol. 20, Pag. 21-32.
- GRANGER, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometrics models and cross spectral methods, *Econometrica*, Vol. 37, Pag. 424-438.
- GROSSMAN, G. & KRUEGER, A. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (2,) 353-377.
- GROSSSMAN, G. & KRUEGER, A. B. (1992). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *CEPR Discussion Papers*, 644.
- GROSSSMAN, G. & KRUEGER, A. B. (1993). Environmental impacts of North American free trade agreement. In P. Garber (Ed.), *The U.S. – Mexico Free Trade Agreement*. (pp. 13-56). Cambridge, MIT Press.
- GUJARATI, D. & PORTER D. (2010). *Econometría*. México D. F., México: The McGraw-Hill.
- HE, J. & RICHARD, P. (2010). Environmental Kuznets curve for CO2 in Canada. *Ecological Economics*, Vol. 69, Pag. 1083-1093.

- HEIL, M. & SELDEN T. (2001). Carbon emissions and economic development: future trajectories based on historical experience. *Environment and Development Economics*, Vol. 6, Pag. 63-83.
- HOLTZ-Eakin, D. & SELDEN, T. (1995). Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, Vol. 57, Pag. 85-101.
- HUANG, B., HWANG, M. & YANG, C. (2008). Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach. *Ecological Economics*, Vol. 67, Pag. 41-54.
- JAEGER, W. & COLLEGE, W. (1998). *A Theoretical Basis for the Environmental Inverted-U Curve and Implications for International Trade*. Discussant. Clive Chapple: Queen's University.
- JOHANSEN, S. (1988). Statistical Analysis of Cointegration Vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12. No. (2-3), 231-254.
- KUZNETS, Simon. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, (45) 1-28.
- MACKINNON, James G. (1996). Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 11, Pág.601-618.
- MALENBAUM, W. (1978). *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. New York: McGraw-Hill.
- MEDINA, J. & AYAVIRI, V. (2017). Ingreso y desigualdad: la hipótesis de Kuznets en el caso boliviano. *Espacios*, 38, (31), pp. 23.
- MOOMAW, W. & UNRUH, G. (1997). *Are Environmental Kuznets Curves Misleading us? The case of CO2 Emissions*. *Environment and Development Economics*, Vol. 2.
- NASIR, M. & Ur REHMAN, F. (2011). Environmental Kuznets Curve for carbon emissions in Pakistan: An empirical investigation. *Energy Policy*, Vol. 39, Pag. 1857-1864.
- NOVALES, Alfonso. (1998). *Econometría*. 2ª ed. Madrid, España. The McGraw-Hill, ISBN 10: 8448101286
- NOVALES, Alfonso. (2011). Modelos vectoriales autoregresivos (VAR), Madrid - España, Universidad Complutense, <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41459/VAR.pdf>.
- NUÑEZ, J. C. (2016). Crecimiento económico y distribución del ingreso: una perspectiva del Paraguay. *Población y Desarrollo*, Vol. 43, Pag. 54-61.
- PANAYOTOU, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. *International Labour Organization. Work paper No. 238*.
- Pérez, Juan P., Trespalacios, Alfredo. (2014). Simulación Modelo VAR IPP-IPC. Cuadernos de Administración. Vol. 30, No. 52
- SELDEN, T. M. & SONG D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, Elsevier, 27(2), 147-162.
- SHELDON, T. (2007). Carbon emissions and economic growth: A replication and extension. *Energy Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.016>.
- SOYTAS, U., Sari, R. & EWING, B. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, Vol. 62, Pag. 482-489.

- STERN, D. (1996). Progress on the Environmental Kuznets Curve? Ecological Economics Program, Work Paper 9601.
- STERN, D., Common, M. & BARBIER, E. (1996). Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development. *World Development*, 24 (7), pp. 1151-1160.
- STOCK, J. & WATSON M. (2012). *Introducción a la Econometría* (3.^a ed.). Madrid, España: Pearson.
- STOKEY, N. (1998). Are there Limits to Growth?. *International Economic Review*, Vol.39, Pag. 1-31.
- URTEAGA, E. (2009). Las teorías económicas del desarrollo sostenible. *Cuadernos de Economía*, Vol. 32, Pag. 113-162.
- WOOLDRIGE, J. (2010) *Introducción a la Econometría. Un enfoque moderno*. (4.^a ed.). México D.F. México: Cengage Learning.

■ ANEXO

Años	C02 Emisión Total ALyC	PIB per capita ALyC
1960	282450,67	1923,02
1961	286623,33	1962,98
1962	301458,67	2025,20
1963	307754,33	2075,35
1964	330436,33	2157,37
1965	340127,33	2204,14
1966	359098,67	2263,85
1967	384230,00	2302,71
1968	410644,67	2373,53
1969	444697,00	2444,28
1970	486335,67	2498,38
1971	510407,33	2569,34
1972	536565,33	2631,32
1973	584364,00	2726,52
1974	620033,33	2772,27
1975	630446,67	2755,23
1976	657382,00	2833,60
1977	685065,33	2929,18
1978	743592,67	3024,49
1979	797049,00	3075,62
1980	837943,33	3100,96
1981	833917,33	3140,95
1982	856163,00	3019,58
1983	823680,00	2894,13
1984	828058,00	2946,29
1985	849599,67	2957,97

Años	C02 Emisión Total ALyC	PIB per capita ALyC
1986	886603,67	3032,91
1987	931458,00	3078,51
1988	955126,33	3097,99
1989	1012062,33	3115,60
1990	970042,33	3131,78
1991	985479,00	3039,19
1992	1003178,00	3122,68
1993	1039789,67	3155,05
1994	1084145,33	3227,45
1995	1088666,33	3278,94
1996	1136498,00	3337,36
1997	1200320,00	3474,72
1998	1272813,67	3558,81
1999	1299012,00	3591,74
2000	1283513,00	3658,74
2001	1312553,00	3704,89
2002	1320051,33	3680,38
2003	1341409,67	3700,48
2004	1370090,33	3862,79
2005	1432801,33	4018,44
2006	1454541,00	4184,26
2007	1508972,67	4345,63
2008	1575874,67	4462,20
2009	1527702,00	4405,36
2010	1486893,50	4541,34
2011	1532894,87	4049,39