



SOCIEDAD
& ECONOMÍA

N° 48

Ene - abr 2023

Créditos fotografía: <https://bit.ly/3IGrozK>

Contaminación por CO₂ y crecimiento económico: ¿Un comportamiento heterogéneo para América Latina?

CO₂ Pollution and Economic Growth: Heterogeneous Behavior for Latin America?

John Michael Riveros-Gavilanes¹

Corporación Centro de Interés Público y Justicia -CIPJUS-, Bogotá, Colombia

✉ riveros@ms-researchhub.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0003-4939-0268>

Ana María Reyes-Vargas²

Universidad Externado de Colombia, Bogotá, Colombia

✉ ana.reyes1@est.uexternado.edu.co

🆔 <https://orcid.org/0009-0005-6367-0778>

Recibido: 06-02-2022
Aceptado: 11-04-2022
Publicado: 31-05-2023

.....
1 Especialista en Proyectos de Desarrollo.

2 Economista.

Resumen

El presente artículo establece una aproximación empírica a la relación de contaminación y crecimiento económico considerando las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en Latinoamérica y su relación con el producto interno bruto a precios constantes. La formulación teórica de la curva ambiental de Kuznets es revisada y establecida con un panel de datos a nivel mundial por regiones, haciendo un especial énfasis en las economías latinoamericanas. Los resultados, robustos ante la dependencia de corte transversal, indican que los incrementos en la producción económica real per cápita no conllevan a esenciales reducciones en las emisiones de CO₂ per cápita a nivel mundial. Este comportamiento se replica a nivel de regiones como Latinoamérica y el Caribe, Europa, Asia central y oriental. Se evidencia que hay cambios en la significancia estadística de cada región continental respecto a la producción y los controles utilizados en las estimaciones.

Palabras clave: contaminación; crecimiento económico; desarrollo regional; dióxido de carbono.

Clasificación JEL: C01, O13, 018, O50.

Abstract

This paper establishes an empirical approach to the relationship between pollution and economic growth by considering carbon dioxide (CO₂) emissions in Latin America and their relationship with gross domestic product at constant prices. The theoretical formulation of the Kuznets environmental curve is reviewed and established with a panel of world data by region, with special emphasis on Latin American economies. The results, robust to cross-sectional dependence, indicate that increases in real economic output per capita do not lead to essential reductions in CO₂ emissions per capita at the global level. This behavior is replicated at the level of regions such as Latin America and the Caribbean, Europe, Central and East Asia. It is evident that there are changes in the statistical significance of each continental region with respect to the production and controls used in the estimates.

Keywords: pollution; economic growth; regional development; carbon dioxide.

JEL Classification: C01, O13, 018, O50.

Financiación

Producto de Investigación del Grupo de Investigación Interés Público y Justicia (GIPJ). Código: COL0189561 ScienTI (Colciencias). Sin financiación.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés en la publicación de este artículo.



Este trabajo está bajo la licencia Atribución-No-Comercial 4.0 Internacional

¿Cómo citar este artículo?

Riveros-Gavilanes, J. M. y Reyes-Vargas, A. M. (2023). Contaminación por CO₂ y crecimiento económico: ¿un comportamiento heterogéneo para América Latina?. *Sociedad y economía*, (48), e10612013. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i48.12013>

1. Introducción

El presente artículo presenta una aproximación empírica entre las relaciones de contaminación y crecimiento económico, evaluadas a partir del nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el producto interno bruto real per cápita (PIB). Dicha evaluación se realiza a nivel global y por regiones continentales. De acuerdo con la información que se encuentra en el Banco Mundial (2021), Latinoamérica en general ha crecido en su PIB per cápita desde 1988, mientras que el nivel de emisiones de CO₂ per cápita se ha incrementado considerablemente, en conjunción con un incremento poblacional (Sheinbaum *et al.*, 2010).

En el proceso de identificación empírica de las relaciones de contaminación y crecimiento, la literatura económica ha establecido la existencia de relaciones heterogéneas (Dinda, 2004; Hettige y Wheeler, 1996), con inconvenientes asociados a la existencia de heterocedasticidad y dependencia contemporánea a nivel de países. Desde el aspecto teórico, la contaminación es un subproducto del proceso de producción económica, asociado con el creciente incremento de la interconexión de mercados. Esta situación provee una justificación para entender la correlación contemporánea entre los niveles de contaminación de los países del mundo. Esta motivación conlleva a realizar una aproximación empírica realizada a través de un panel de datos con errores estándar robustos ante la presencia de dependencia de corte transversal y autocorrelación serial.

Los resultados de nuestra investigación indican que los efectos del crecimiento económico sobre la contaminación son heterogéneos para cada región continental, y se destaca, a través de la proyección lineal de las estimaciones, que América Latina presenta un proceso inverso al descrito por la formulación teórica original de la curva ambiental de Kuznets (1955).

La hipótesis original que define Kuznets (1955) expresa una relación de forma de U invertida entre los fenómenos de producción económica real y los niveles de desigualdad económica. En particular, se enfatiza que, tras un nivel superior de desarrollo de fuerzas económicas, existe un

punto de inflexión en el que la desigualdad pasa de un estado creciente a uno decreciente. Este concepto posteriormente se fue desarrollando a la perspectiva ambiental en diversos estudios (Selden y Song, 1994; Panayotou, 1992, entre otros), para luego ser examinado formalmente por Grossman y Krueger (1995) en el que el proceso de degradación ambiental aumenta con el nivel de ingreso per cápita y disminuye cuando el ingreso per cápita es suficientemente alto. A partir de este punto, han surgido una variedad de artículos con un enfoque netamente empírico sobre la relación existente entre las emisiones de carbono e ingreso. Las aproximaciones y demostraciones empíricas de la literatura son importantes para entender cómo el crecimiento económico y la contaminación tienen una relación cercana y los procesos de producción están atados a las emisiones de CO₂. Algunos autores establecen una relación positiva entre la producción económica y la contaminación (Ekins, 1993), y ven la necesidad de establecer un límite al crecimiento ante la ausencia de recursos físicos e insumos que lo perpetúen en el tiempo (Govett y Govett, 1972; Distefano y Kelly, 2017). Pero hay otros que rechazan el crecimiento de la economía como el único camino viable para la protección del medio natural (Beaudreau y Lightfoot, 2015), argumentando que la innovación puede constituir un punto de anclaje a nuevas tecnologías menos contaminantes.

Un enfoque previo a lo que contiene este artículo se basa en Selden y Song (1995) y Grossman y Krueger (1995), quienes abrieron la relación caracterizada en forma de U invertida sobre el desarrollo y la degradación ambiental. Sin embargo, es necesario destacar que las aplicaciones del modelo de la curva Ambiental de Kuznets presentan resultados mixtos, dada la evidencia empírica de las relaciones entre contaminación (medida por las toneladas métricas de CO₂ per cápita) y la producción económica real per cápita, el comportamiento a nivel global y por el comportamiento a nivel de regiones (Sarkodie y Strezov, 2019).

El problema de investigación se define a partir de la ausencia de estudios empíricos que consideren específicamente la existencia de comportamientos heterogéneos por región

considerando en particular la existencia de la dependencia de corte transversal en las economías. La hipótesis del trabajo es que la curva ambiental propuesta originalmente por Kuznets en forma de U invertida no se cumple en la actualidad. Los objetivos del trabajo para examinar esta hipótesis involucran analizar los datos actuales a nivel global pero segmentados por regiones continentales; así mismo, realizar estimaciones empíricas para comprobar la existencia o carencia de la curva ambiental, y planear su comportamiento para Latinoamérica.

Luego de esta introducción, este texto contiene cinco secciones. La segunda resume la revisión de literatura, mostrando la relevancia del trabajo en la literatura base y complementaria. La tercera compila la explicación de la metodología implementada para el desarrollo del análisis empírico. La cuarta provee la descripción de los datos utilizados. La quinta presenta los resultados de las regresiones de panel de datos a nivel “mundo” y por regiones continentales. La sexta sección incluye la discusión y la última parte presenta las conclusiones.

2. Marco teórico y revisión de la literatura

Como lo establece Dinda (2004), la hipótesis original de la curva ambiental de Kuznets expone una relación de U-invertida entre diferentes contaminantes y el ingreso per cápita real de una economía. La relación describe un comportamiento inicial donde existe un deterioro de la calidad ambiental en las etapas iniciales de crecimiento/ desarrollo económico, el cual llega a un máximo punto de transición para luego comenzar a decaer. Una aproximación intuitiva y simple permite establecer que los niveles de contaminación ambiental se encuentran en función de los niveles de desarrollo económico:

$$EC = f(y) \quad [1]$$

Donde EC es el nivel de contaminación ambiental (*environmental contamination*), y y es el nivel de ingreso real per cápita. Se teoriza que los niveles de contaminación son crecientes a me-

didada que aumenta el ingreso real hasta llegar a un punto de transición α del nivel de ingresos, como punto de cambio en el cual los niveles de contaminación ambiental en lugar de aumentar se reducen paulatinamente ante incrementos del ingreso. Esto significa que $\alpha \in y$ existiendo un cambio que afecta la relación de contaminación/ingreso de forma inversa. En este orden de ideas, las condiciones “tradicionales” de la curva ambiental consideran que:

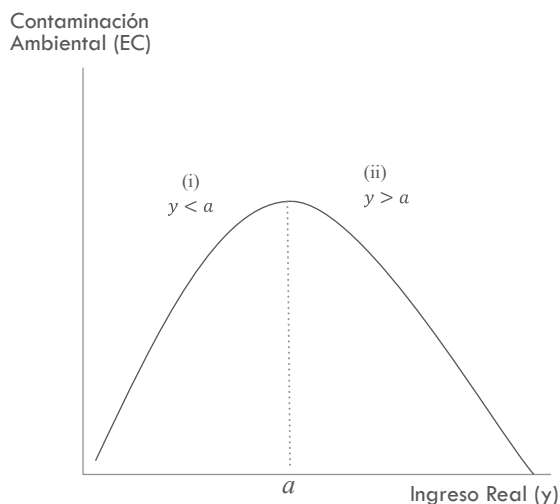
$$\frac{\partial EC}{\partial y} \geq 0 \forall y < \alpha \quad \wedge \quad \frac{\partial EC}{\partial y} < 0 \forall y > \alpha \quad [2]$$

$$\frac{\partial^2 EC}{\partial y^2} < 0 \quad [3]$$

La condición expresada en [2] indica que existen variaciones positivas de los niveles de contaminación ante cambios en el ingreso real para todo ingreso per cápita menor que el punto de transición, y cuando el nivel de ingreso supera dicho punto, existen variaciones negativas de los niveles de contaminación ante incrementos del ingreso real. La condición expresada en [3] se refiere a la existencia de un máximo local dentro de la función [1], lo que tradicionalmente se teoriza como una relación invertida con forma de U desde la perspectiva ambiental de Kuznets (Grossman y Krueger, 1995).

Estas condiciones son representaciones de los cambios estructurales que las economías atraviesan a partir del proceso de desarrollo económico, en el cual, en una etapa primaria del crecimiento económico (asumida como expresión de los niveles de desarrollo económico), tienden a ejercer presiones de deterioro ambiental. Sin embargo, conforme se da la transformación de la estructura económica en términos productivos y tecnológicos, asociados a cambios en las fuerzas productivas y las preferencias de los agentes económicos, se da un proceso paulatino al decrecimiento de la contaminación ambiental. En este proceso, existe un punto en el que dicha presión se desvanece y comienza a existir una reducción asociada a los niveles de contaminación ambiental. La Figura 1 ejemplifica esta transición.

Figura 1. Curva Ambiental de Kuznets



Fuente: elaboración propia basada en Dinda (2004).

La región (i) es caracterizada por un régimen de producción dedicado a la extracción de recursos primarios, intensificación en la agricultura y asociado a un nivel bajo de progreso tecnológico. Las características de este régimen implican una tasa de explotación limitada e ineficiente, un decrecimiento paulatino de recursos y la generación de contaminantes elevados tanto en toxicidad como en cantidad de la contaminación ambiental. Cuando se incrementan los niveles de desarrollo económico, el punto de transición representa un cambio en la estructura productiva, y se llega a un régimen (ii) donde impera la economía intensiva, desarrollo industrial e informático, regulaciones normativas que limitan los niveles de contaminación, y preferencias de los agentes económicos, tendientes a mejorar las condiciones ambientales de la economía (Arrow *et al.*, 1995).

Referente al tema de Kuznets, considerando modelos teóricos y matemáticos, estos parten de la aproximación pionera de Kuznets original, que asocia las disminuciones de la desigualdad económica con los incrementos del nivel de desarrollo (Kuznets, 1955); en contraposición con la perspectiva ambiental asumida por otros autores, la cual ha tenido un enfoque más centrado en lo empírico (Kijima *et al.*, 2010). Los autores que han

desarrollado consistentemente modelos teóricos fundamentados en la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets son, entre otros³, López (1994), quien asume que la polución del aire es un factor determinante en la función de bienestar social de una economía, junto con los niveles de consumo y precios económicos. Además, McConnell (1997) analiza los cambios en la función de utilidad por la influencia de la polución como fenómeno dependiente del consumo y el gasto.

John y Pecchenino (1994) plantean un modelo generacional donde la función de utilidad es dependiente de los niveles de consumo y calidad ambiental. Este modelo predice que la dinámica intertemporal lleva al agente económico a maximizar la utilidad, invirtiendo ambientalmente en las etapas tardías del crecimiento, caracterizadas cuando las generaciones alcanzan un stock de capital físico de estado estacionario lo suficientemente alto. El modelo propuesto por Selden y Song (1995) considera la relación del ingreso entre el consumo y el gasto, donde la polución depende de los niveles del stock de capital físico. Esta formulación teórica predice que cuando los niveles de contaminación son relativamente bajos, los agentes económicos no son conscientes de la degradación ambiental. Sin embargo, a un nivel de degradación suficientemente alto, el planificador social reasigna los recursos para reducir los niveles de contaminación ambiental e incrementar el bienestar social.

En contraposición, la literatura empírica de la formulación ambiental de Kuznets es amplia y significativa, pero a su vez, contiene resultados dispares en relación con la influencia de los niveles de ingreso real para disminuir la contaminación ambiental. Estudios como los de Grossman y Krueger (1995) indican la existencia de la curva ambiental con sus condiciones tradicionales, comprobando la tendencia de reducir la contaminación al incrementar los niveles de ingreso real. Ahora bien, estudios como los de Stern *et al.* (1998) muestran el

³ Para un resumen general de la literatura teórica, véase Kijima *et al.* (2010).

caso inverso, considerando por supuesto, una discriminación específica por contaminante en el análisis metodológico.

Estudios en relación con Estados Unidos (Hettige *et al.*, 1995) y Latinoamérica (Hettige y Wheeler, 1996; Dasgupta *et al.*, 2001) han buscado establecer si las condiciones tradicionales de Kuznets se cumplen en la evidencia empírica. Pese a eso, la falta de datos en estas regiones ha imposibilitado llegar a conclusiones definitivas o robustas a través de las regresiones. Finalmente, es de destacar que los estudios que implican modelos no lineales en sus términos, con formas polinómicas en sus regresiones, obtienen resultados diferenciales tanto para muestras específicas como para periodos de tiempo determinados (Dasgupta *et al.*, 2002); lo que imposibilita que la inferencia de la curva ambiental de Kuznets se cumpla a cabalidad.

Roca y Padilla (2003) emplean un estudio enfocado en las relaciones entre el crecimiento económico y emisiones atmosféricas. Dentro de su estudio dejan claro la existencia de economías dinámicas, de acuerdo con el enfoque de sus actividades y su forma de implementación, suponen que un determinado aumento en la producción económica conlleva a un aumento equivalente en los diferentes problemas ambientales. Exploran a su vez, una hipótesis puntualizada sobre la relación entre las presiones ambientales y la renta per cápita (hipótesis en forma de U invertida). Aunque los resultados empíricos de la mayoría de estos estudios varían de uno a otro, se alaba el hallazgo de estos autores de la demostración, si bien parcial, de una evidencia clara que demuestra que el crecimiento económico conduce a una degradación ambiental en una etapa inicial del proceso: “finalmente la mejor vía de conseguir un medio ambiente decente en la mayoría de los países es que se hagan ricos” (Beckerman, 1992, p. 48).

Por su parte, Cruz (2009) deja en claro que, a simple vista, se puede evidenciar una relación entre el crecimiento económico y la contaminación. Se enfoca en una comparación entre Bogotá y Londres. Expone dentro de su estudio que, a pesar de que las dos ciudades son grandes urbes, están diferenciadas por etapas

de desarrollo y crecimiento económico, generando así una problemática ambiental completamente distinta. Bogotá presenta altos índices de contaminación del aire, comparada con Londres, que no lo ha superado completamente, pero los índices de contaminación están dentro de los límites establecidos internacionalmente. Varios de los resultados expuestos en este estudio reflejan una relación clara entre ciudades con altos ingresos, en la mayoría de los casos, y una problemática ambiental bajo control. Por el contrario, en las ciudades con bajos niveles de ingreso, este problema está fuera de control.

Adicional, Cancelo y Diaz-Vázquez (2009) analizan factores exógenos con un modelo de la curva de Kuznets ambiental (también denominada CKA), en casos en los que se detecta una transición en la relación emisiones-PIB per cápita. Para el trabajo que ellos desarrollan, se comparan resultados de estimaciones econométricas con modelos CKA basados en un análisis de series de tiempo y con la evolución de indicadores por países con dos contaminantes principales: emisiones de CO₂ y de azufre. Se completa el estudio con los resultados de un análisis de descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones.

Spencer y Andrew (2010) trabajan un tema enfocado en la economía del federalismo ambiental en Estados Unidos, que se identifica con desviaciones que igualan los costos y beneficios marginales por estados. Los gobiernos locales pueden responder a las condiciones locales, pero ignoran los efectos de contagio entre cada uno de los estados. Al mismo tiempo, los gobiernos centrales pueden interiorizar los efectos de contaminación, pero imponen regulaciones iguales para cada uno de los estados donde se realiza el estudio, ignorando la heterogeneidad que poseen. Por lo que muestran un modelo simple que se enfoca en que la elección de la política depende fundamentalmente de los costos marginales de reducción en la contaminación de CO₂ en cada estado en particular. Si los costos marginales de contaminación aumentan, los costos de reducción tienden a ser más altos en las políticas locales de mitigar la contaminación.

Uno de los estudios recientes, realizado por Albuлесcu *et al.* (2019), toma y amplía los resultados de Sapkota y Bastola (2017) para un mismo conjunto de países de Latinoamérica. Sapkota y Bastola (2017) basan su análisis en una regresión con variables instrumentales. Comparan un estimador de mínimos cuadrados de dos etapas y dividen la muestra en dos: un grupo de ingresos bajos y un grupo de ingresos altos. Partiendo de este contexto, Albuлесcu *et al.* (2019) se centran en analizar y desarrollan la validación de la curva ambiental de Kuznets, donde la hipótesis es que la contaminación está influenciada por el nivel de emisiones de carbono en cada país (Albuлесcu *et al.*, 2019).

Los países de la muestra de Albuлесcu *et al.* (2019) cuentan con rasgos de semejanza y de heterogeneidad, no solo por el desarrollo económico, sino también por las emisiones de CO₂. Se realiza la comparación entre países que están industrializados, que poseen mayores entradas de inversión extranjera directa y atraen actividades de inversión que pueden dañar el medio ambiente, con países en Latinoamérica que se caracterizan por un bajo nivel de emisiones de CO₂, menos industrializados o que atraen inversiones en sectores de servicios, sin un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, para conocer si el nivel de ingresos y la inversión extranjera directa tienen efectos diferentes entre países con emisiones bajas y altas, dentro de cada grupo, el estudio utilizó un estimador para la regresión propuesto por Powell (2016).

Nuevas investigaciones en el contexto latinoamericano de este tema de contaminación se pueden ubicar en Pablo-Romero y Sánchez-Braza (2023), Andrade *et al.* (2022) y Hwang (2022) que exploran la validación empírica de la curva ambiental de Kuznets focalizada en perspectivas forestales, aspectos institucionales, y el consumo energético, respectivamente. Los resultados en general tienden a establecer que para las economías latinoamericanas, la hipótesis en forma de U de Kuznets para la contaminación ambiental no se cumple de forma absoluta, sino que depende del país, y el tipo de contaminante. Así mismo, Jahanger *et al.* (2022) refuerza

estas conclusiones fuertemente asociadas a la idea de heterogeneidades en los países en vías de desarrollo.

Sobre las variables de análisis asociadas a la curva ambiental, podemos encontrar los estudios de Ben Jebli *et al.* (2016), Katircioğlu y Katircioğlu (2018), Sarkodie y Strezov (2019) que relacionan las variables de consumo energético, renovable y no renovable, la aglomeración urbana y las fuentes energéticas para moldear el fenómeno de la contaminación ambiental, respectivamente. Así mismo, se destaca que uno de los contaminantes ligados al análisis de la contaminación está dado por las emisiones de CO₂ (Shahbaz y Sinha, 2019) como variable dependiente de las aproximaciones empíricas. Sin embargo, como lo destacan Olivares Mendoza y Hernández Rodríguez (2021), reducir la validación de la curva ambiental de Kuznets para un determinado tipo de contaminante es simplemente analizar una fracción específica de la compleja realidad de la contaminación.

El consumo energético, así como el uso de energías renovables, es incluido en el estudio de Al-Mulali *et al.* (2015) junto con el análisis de las relaciones de largo plazo en el contexto de la cointegración de la contaminación y la producción real para Latinoamérica. Los autores emplean el uso de modelos de vectores autorregresivos y el estimador *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) para encontrar evidencia que sustenta la curva ambiental de Kuznets pero en forma de U invertida. Sin embargo, dicho estudio no profundiza en la existencia de correlación contemporánea/dependencia de corte transversal, la cual puede proveer inferencias erróneas.

3. Metodología

Considerando la aproximación tradicional de la curva ambiental de Kuznets (Grossman y Krueger, 1995), la especificación econométrica seleccionada involucra como medida de contaminación (por ser la mejor documentada a nivel global) los niveles de emisiones anuales de CO₂. Emisiones medidas en toneladas métricas en términos per cápita por país, desde

1960 hasta 2016, considerando una muestra de 135 países. Esta cantidad de países se utiliza para estimar las regresiones a nivel global con la disponibilidad actual de los datos. Posteriormente, se segmenta en los análisis regionales. A partir de esto, se asume la existencia de una relación

no lineal en su forma funcional respecto al PIB per cápita de la economía a precios constantes en moneda común (USD de 2010), apoyado en una serie de covariables (Catalán, 2014) que permitan la obtención de resultados robustos en las regresiones.

$$CO2_{it} = \alpha_0 + \beta_1 y_{i,t} + \beta_2 y_{i,t}^2 + \beta_3 y_{i,t}^3 + \sum_{j=1}^k \theta_j x_{i,t} + \mu_i + e_{i,t} \quad [4]$$

El modelo econométrico general se encuentra representado por la anterior ecuación, considerando el nivel de emisiones del país i en el año t de CO_2 , el cual tiene una relación no lineal respecto al PIB per cápita y ; capturada respectivamente en los coeficientes β involucrando un término lineal en β_1 , un término cuadrático en β_2 y un término cúbico en β_3 . Por regla general, se incluye un conjunto de k covariables contenido en x y la inclusión de un componente de efectos fijos a nivel de país representado por μ . A diferencia del estudio de Catalán (2014), que estima múltiples modelos considerando estimadores de efectos fijos, aleatorios y Pool de datos, por las características de la correlación entre los regresores y y x con μ , en este estudio se estima solamente el modelo de efectos fijos⁴. Esto en virtud de que la teoría econométrica determina que al estimar el modelo por efectos aleatorios o Pool de datos, con la existencia de esta correlación entre la heterogeneidad inobservable y los regresores, conlleva a la estimación de estimadores potencialmente

sesgados e inconsistentes⁵. De igual manera, se presenta el procedimiento estándar para la selección de modelo de Pool de datos, fijos u aleatorios en el Apéndice 1.

A partir de la expresión [4], se pueden realizar un conjunto de pruebas de hipótesis estadísticas para corroborar el comportamiento empírico de la relación de ingreso real per cápita y contaminación. Esta aproximación implica su estimación econométrica y un comportamiento específico de los parámetros β , así como su significancia estadística en la regresión con formas funcionales no lineales representada en la Tabla 1. Tal y como se menciona en la especificación [4], las emisiones de CO_2 vienen explicadas a partir de la producción económica real per cápita y en su especificación lineal, cuadrática y cúbica. Las covariables se incluyen en la estimación, pero el signo y significancia de los coeficientes β permite establecer qué tipo de forma funcional tiene la relación descrita por Kuznets.

La ecuación [1] de tipo estático es verificada empíricamente por medio del estimador

4 En este sentido, si agrupamos los regresores del ingreso real per cápita junto con las covariables x para tener un vector $z=(y,x)'$ este vector z se asume que estará correlacionado con la heterogeneidad inobservable a nivel de país μ . La justificación radica en que las características individuales capturadas en los efectos fijos μ de las economías se encuentran correlacionadas con los niveles de ingreso real, y las covariables asociadas a la densidad poblacional, la producción y consumo energético, entre otros factores. La omisión de esta correlación sesgaría los estimadores.

5 Para una explicación más amplia de las limitaciones de los estimadores de efectos aleatorios y Pool de datos por no considerar la potencial endogeneidad entre los regresores y la heterogeneidad inobservable, véase Arellano (2003; 2009), Baltagi (2005) y Wooldridge (2001). Igualmente, se verifica el orden de integración de las variables y la existencia de cointegración con la prueba de Kao (1999) para detectar relaciones espurias, véase Apéndice A.

Tabla 1. Pruebas de Hipótesis asociadas al comportamiento de los parámetros

No.	Prueba de Hipótesis	Interpretación
1	$\beta_1 > 0 \wedge \beta_2 = \beta_3 = 0$	Incremento monótonico (lineal) de la relación ingreso/contaminación.
2	$\beta_1 < 0 \wedge \beta_2 = \beta_3 = 0$	Decrecimiento monótonico (lineal) de la relación ingreso/contaminación.
3	$\beta_1 < 0 \wedge \beta_2 > 0 \wedge \beta_3 = 0$	Relación invertida de U (comportamiento original de la curva ambiental de Kuznets).
4	$\beta_1 > 0 \wedge \beta_2 < 0 \wedge \beta_3 = 0$	Relación U (comportamiento inverso al original de la curva ambiental de Kuznets).
5	$\beta_1 > 0 \wedge \beta_2 < 0 \wedge \beta_3 > 0$	Forma de relación N entre el ingreso/contaminación.

Fuente: elaboración propia con información de Kijima *et al.* (2010) y Catalán (2014).

Driscoll y Kraay (1998) (denominado DK) ante la existencia de la dependencia de corte transversal que presentan las variables del modelo (en especial las emisiones CO₂ en el panel general). Dicha dependencia también, como se esperaba, se encuentra presente en los residuales de la regresión estática. La omisión de la existencia e influencia de la dependencia de corte transversal, según establece Hoechle (2007), conlleva a problemas fuertes asociados a una errónea inferencia estadística de los estimadores (bien sean de mínimos cuadrados ordinarios, efectos fijos u aleatorios), cuestión que suele ser ignorada en la literatura econométrica sobre la validación de la curva ambiental de Kuznets en el caso de panel de datos.

Así mismo, según indican Sarafidis y Wansbeek (2012), el estimador DK es adecuado para paneles que coinciden con un tamaño *N* amplio y una considerable ventana de tiempo *T*. El estimador DK aplica una transformación del estimador Newey y West (1987) para garantizar que las estimaciones de los errores estándar robustos de la matriz de varianza-covarianza sea consistente ante la presencia de dependencia de corte transversal, heterocedasticidad y autocorrelación. Así, el estimador DK elimina las deficiencias de otros enfoques como el estimador Parks (1967), Kmenta (1986) o el estimador de Beck y Katz (1995) (PCSE), los cuales tienden a causar un sesgo significativo en la inferencia estadística de los estimadores de la regresión (Hoechle, 2007). En comparación con estos estimadores, el propuesto tiene la capacidad de tener

resultados robustos ante la dependencia de corte transversal, autocorrelación y heterocedasticidad, cuando el tamaño de la muestra *N* es grande, siempre que la ventana de tiempo *T* también sea significativa.

El conjunto de covariables de análisis se presenta en la Tabla 2. Entre los diferentes estudios empíricos observados en la revisión de la literatura, la densidad poblacional representa la aglomeración y masificación en los territorios a nivel de país, donde una mayor densidad poblacional tiende a estar correlacionada con mayores niveles de contaminación. Así mismo, los usos funcionales de la tierra (tanto de agricultura y potencial cultivable) tienen una incidencia en los niveles de contaminación por efecto de gases contaminantes, la inclusión de estos usos funcionales permite controlar dichos factores. Relacionado con lo anterior, como parte del proceso de producción económica, el consumo energético se encuentra intrínsecamente relacionado con el subproducto de contaminación ambiental, así mismo captura la demanda energética del agregado de la economía incluyendo hogares, empresas y sector público para explicar la contaminación ambiental. Para completitud del análisis, el tipo de origen energético también es controlado en términos del porcentaje de energías renovables. Finalmente, dado que la explotación petrolera también incide en los niveles de contaminación ambiental, se incluye el control de rentas del petróleo, para observar si cuando la explotación de crudo se vuelve más atractiva para las economías, existe un incremento de la contaminación.

Tabla 2. Covariables seleccionadas para las regresiones

Nombre de la Variable	Descripción (Banco Mundial)
Densidad Poblacional	Población dividida por la superficie territorial en kilómetros cuadrados.
Tierras agrícolas (% del área de tierra)	Porción del área de tierra cultivable, afectada por cultivo y pradera permanentes. Se excluyen las tierras abandonadas a causa del cultivo migratorio.
Tierras cultivables (% del área de tierra)	Terrenos afectados a cultivos temporales, los prados temporales para segar o para pasto, las tierras cultivadas como huertos comerciales o domésticos, y las tierras temporalmente en barbecho. Se excluyen las tierras abandonadas a causa del cultivo migratorio.
Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)	Producción de las centrales eléctricas y de las plantas de cogeneración menos las pérdidas ocurridas en la transmisión, distribución y transformación y el consumo propio de las plantas de cogeneración.
Producción de energía eléctrica renovable (% de la producción total de electricidad)	Porcentaje de electricidad generado de la producción total derivado del uso de energías renovables.
Rentas del petróleo (% del PIB)	La renta del petróleo es la diferencia entre el valor de la producción de petróleo crudo a precios mundiales y los costos totales de producción.

Nota: definiciones textuales tomadas de la fuente Banco Mundial (2021).

Fuente: elaboración propia.

Para efectos comparativos, las estimaciones del modelo econométrico expresado en [1], se realizan segmentando el comportamiento a nivel mundial y a nivel de región continental. En este sentido, se presenta la regresión a nivel “mundo” en primera medida, agrupando toda la información disponible de cada uno de los 216 países que reportan datos de las emisiones de CO₂, PIB real a moneda común (USD 2010) y del conjunto de covariables de la Tabla 1.

Posterior a esto, se estiman las regresiones de forma restringida, utilizando únicamente como criterio separador la muestra filtrada por regiones continentales. De esta manera, además de la estimación a nivel de “mundo”, se estima el comportamiento del modelo a nivel de las “regiones continentales”, siguiendo la clasificación de países por región que utiliza el Banco Mundial (2020) en la revisión provista por el *World Integrated Trade Solution* -WITS-, que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de regiones

No.	Región Continental
1	Latinoamérica y el Caribe
2	Europa y Asia Central
3	Medio Oriente y Norte de África
4	Este de Asia y Pacífico
5	Norteamérica

Fuente: tomado de Banco Mundial (2021).

Por efectos de espacio, no se incluye la discriminación por país de la clasificación, esta puede ser consultada revisando la fuente Banco Mundial (2021). La metodología propuesta, como aspecto diferenciador de otros estudios, implica segmentar las regresiones con el fin de evitar el sesgo de agregación y observar las diferencias por regiones continentales en el mundo, y así detectar el comportamiento atípico entre las relaciones de emisiones de CO₂ y GDP.

4. Hechos empíricos

El comportamiento de emisiones de CO₂ y producción económica per cápita (medido por el PIB per cápita) permite extender su clasificación estandarizada a diferentes niveles de ingreso de las diferentes economías del mundo, los cuales no tienen un patrón específico, salvo por las concentraciones de los países con menores ingresos. Véase Figura 2, en la cual se destaca que los países de ingresos bajos (menores a \$1045 USD per cápita), medianos bajo (entre \$1046 y \$4095 USD per cápita) y medianos alto (entre \$4096 a \$12695 USD per cápita) configuran la principal concentración en bajas emisiones de CO₂, en comparación con los países de ingresos altos (más de \$12695 USD per cápita), los cuales presentan una dispersión mucha más amplia y un espectro de la dispersión mucho más ampliado.

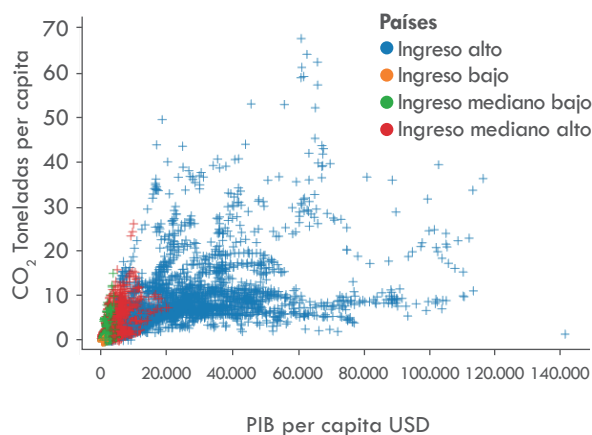
Por otro lado, si analizamos el comportamiento a nivel de regiones continentales, se puede distinguir que existe una concentración significativa de bajas emisiones (inferior a las 20 toneladas per cápita de CO₂) en relación con las regiones de Europa, Asia, África y Latinoamérica. Sin embargo, la diversidad de los niveles de contaminación no se restringe a un solo continente, como se puede visualizar en la Figura 3.

Así mismo, se observa que no existe una región preponderante en las emisiones de CO₂ cuando

se tiene un bajo ingreso per cápita, es evidente que existe una fragmentación no muy diferenciable de las emisiones cuando se consideran niveles inferiores a los 60 mil dólares per cápita. Aun así, la dispersión aumenta significativamente a partir de este punto, donde existen regiones como la del Medio Oriente y el norte de África que, pese a no tener una gran cantidad de producto per cápita, sí tienen los niveles más altos de contaminación por CO₂.

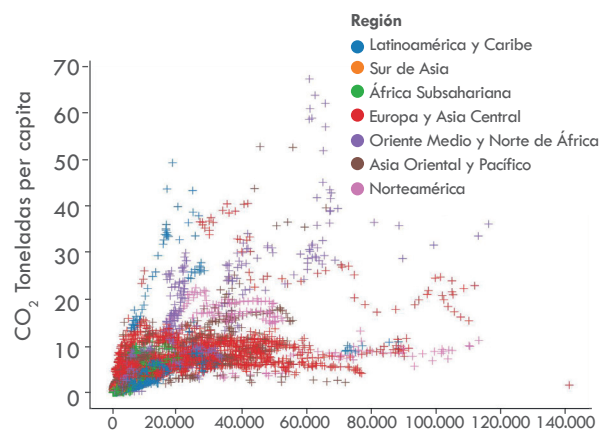
Se observa en la Figura 4 que la concentración de las emisiones más bajas se ubica en África subsahariana, sur y oriente de Asia, Latinoamérica y el Pacífico. En las otras regiones del mundo como Europa, Norteamérica, Medio Oriente y norte de África se encuentran mayores niveles de contaminación per cápita. De acuerdo con la Tabla 4, la media mundial de contaminación desde 1960 hasta 2016 es en promedio de 4,98 toneladas métricas per cápita, las regiones que históricamente han contaminado más se ubican en Norteamérica (14,1 toneladas per cápita), Medio Oriente y norte de África (9,5 toneladas) y Europa, con la región de Asia central (7,51 toneladas). Mientras que las regiones que menores niveles de contaminación en promedio tienen son Latinoamérica (5,8 toneladas), este de Asia y el Pacífico (4,2 toneladas), África subsahariana (0,72 toneladas) y el sur de Asia (0,46 toneladas).

Figura 2. Comportamiento de emisiones de CO₂ y producción económica per cápita



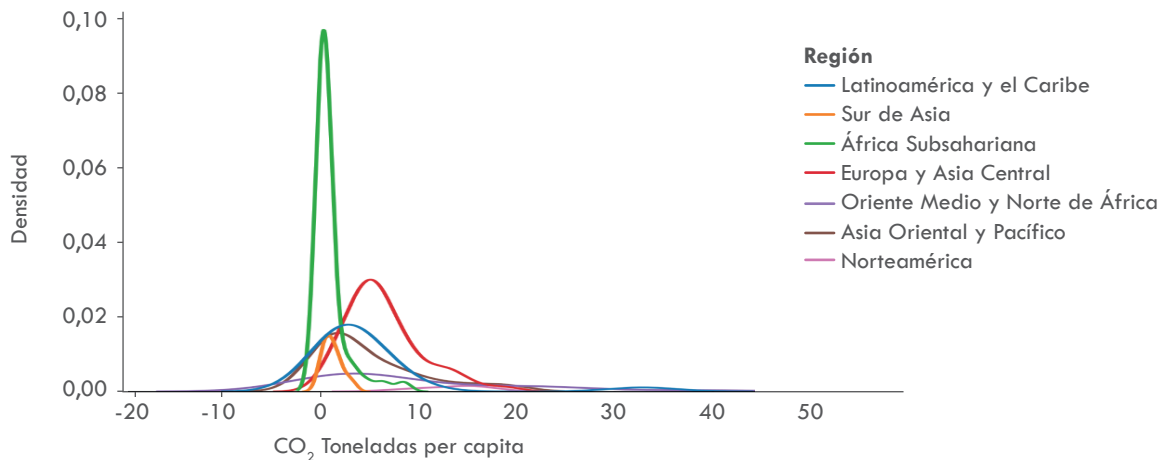
Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial (2021).

Figura 3. Diversidad regional de los niveles de contaminación



Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial (2021).

Figura 4. Distribución de Emisión Anual (2016) de CO₂ por Región con Densidad Kernel



Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial (2021).

Tabla 4. Estadísticas descriptivas de emisiones de CO₂ por región (cifras en toneladas per cápita)

Región	Observaciones	Media	Mediana	Desviación Estándar	Varianza	Mínimo	Máximo
Asia Oriental y Pacífico	1.797	4,228511	1,504981	6,126937	37,53936	0,004333	67,21056
Europa y Asia Central	2.187	7,518387	6,880002	5,093504	25,94378	0,292704	40,58952
Latinoamérica y Caribe	2.085	5,83307	1,821535	24,2862	589,8197	0,024118	360,8532
Oriente Medio y Norte de África	1.160	9,524045	3,202217	15,24123	232,295	0,011038	101,0517
Norteamérica	171	14,12729	15,99978	5,207461	27,11765	3,151929	22,51058
Sur de Asia	435	0,465116	0,308169	0,5247163	0,275327	0,007857	3,038399
África subsahariana	2.559	0,721659	0,202878	1,645728	2,708421	-0,0201	11,20397
Total	10.394	4,975563	1,670323	12,9553	167,8399	-0,0201	360,8532

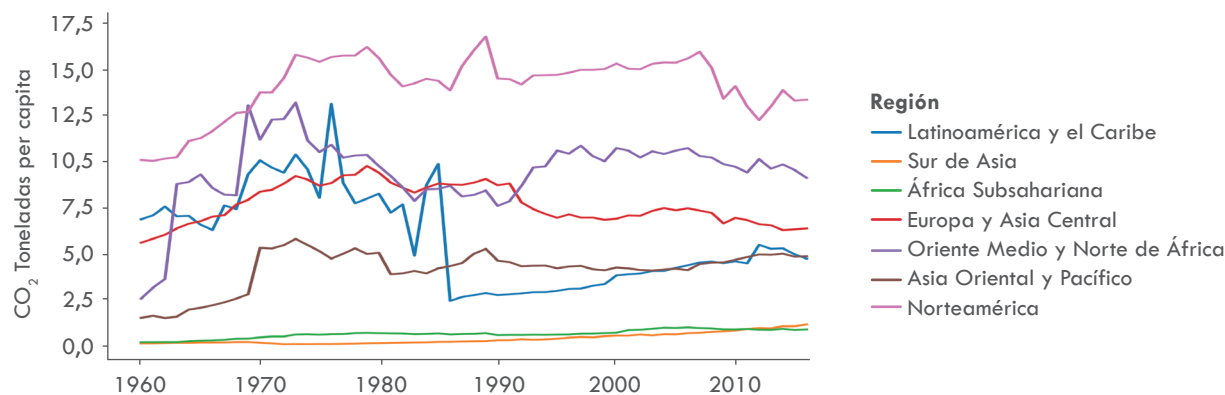
Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial (2021).

El análisis de la varianza de las emisiones de CO₂ per cápita indica que la región que posee mayores niveles de dispersión de este compuesto es la región de Latinoamérica y el Caribe, lo cual sugiere una fuerte disparidad a nivel de países respecto al promedio de sus emisiones anuales, seguido de Medio Oriente y norte de África. Las regiones más homogéneas respecto a sus niveles de contaminación se ubican en el sur de Asia y África subsahariana. Lo cual resalta la evidente heterogeneidad territorial a nivel de las regiones continentales en el mundo, particularmente, las regiones con menores niveles de contaminación son las que menor heterogeneidad poseen, salvo la excepción de Norteamérica, que posee

menor dispersión de sus emisiones anuales de CO₂, pero una mayor cantidad de emisiones.

La evolución histórica, considerando los promedios anuales medido en toneladas métricas per cápita de CO₂ por región, se presenta en la Figura 5. Se observa que Latinoamérica y el Caribe tuvieron una reducción importante en el promedio de sus emisiones a mediados de la década de 1980, mientras que las regiones de Europa y Asia Central, Norteamérica, este de Asia y Pacífico (a excepción de Medio Oriente y norte de África) tuvieron una reducción en la aceleración de las emisiones de CO₂ que llevaban antes de dicha década.

Figura 5. Evolución de promedios anuales de CO2 por región



Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial (2021).

5. Resultados

La Tabla 5 presenta los resultados agregados y segmentados por regiones continentales. Las estimaciones utilizaron efectos fijos a nivel de país y los resultados, como se esperaba, son heterogéneos. La variable dependiente en todos los casos

son las cantidades de toneladas métricas de CO₂ en términos per cápita. Las dinámicas económicas, por cuanto son diferenciales en cada región, derivan en aspectos asimétricos en el rol de la producción económica en las emisiones de CO₂.

Tabla 5. Regresiones por nivel de agrupación de regiones

Variables	Mundo	Latinoamérica y el Caribe	Europa y Asia Central	Medio Oriente y Norte de África	Este de Asia y Pacífico	Norteamérica
	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂
PIB	0,000537*** (3,55e-05)	0,00136** (0,000490)	0,000246*** (5,20e-05)	-0,000444 (0,000429)	0,00160*** (0,000246)	-0,00352 (0,00425)
PIB²	-9,13e-09*** (7,03e-10)	-2,40e-07*** (6,68e-08)	-4,21e-09*** (1,02e-09)	2,80e-08 (1,62e-08)	-4,95e-08*** (6,76e-09)	8,94e-08 (9,72e-08)
PIB³	4,95e-14*** 5,46E-15	1,23e-11*** 2,67e-14	2,50e-14*** 5,82e-15	-2,85e-13 1,65e-13	4,69e-13*** (7,00e-14)	-7,31e-13 (7,36e-13)
Densidad Poblacional	-0,00304*** (0,000495)	0,00614** (0,00228)	-0,0283*** (0,00898)	-0,00561*** (0,00138)	-0,00117 (0,000917)	-0,619 (0,132)
% Tierras Agrícolas	0,0112 (0,0130)	0,00910 (0,0143)	0,0173* (0,00966)	-0,0636* (0,0358)	-0,0969 (0,0559)	-0,0234 (0,258)
% Tierras Cultivables	0,0436** (0,0168)	-0,125*** (0,0268)	0,0433*** (0,00952)	0,176** (0,0671)	0,0834 (0,104)	0,276 (0,231)
Energía Consumo KWh	4,69e-05** (1,80e-05)	0,00122*** (0,000296)	-2,30e-05** (9,99e-06)	0,000718*** (0,000235)	-8,35e-06 (0,000338)	0,00128* (0,000131)
Prod. Ener. Elec. Renovable	-0,0185*** (0,00287)	0,00804* (0,00430)	-0,0712*** (0,00574)	-0,0909*** (0,0250)	-0,0119*** (0,00346)	-0,0962 (0,0583)

Tabla 5. Regresiones por nivel de agrupación de regiones (continuación)

Variables	Mundo	Latinoamérica y el Caribe	Europa y Asia Central	Medio Oriente y Norte de África	Este de Asia y Pacífico	Norteamérica
	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂
Rentas Petróleo	0,00477 (0,0137)	-0,0109 (0,0299)	-0,0376 (0,0454)	0,0369*** (0,00951)	0,148 (0,134)	-0,103 (0,254)
Constante	1,440** (0,584)	-0,965 (1,082)	7,419*** (0,941)	7,512*** (2,581)	0,645 (0,959)	54,61 (61,51)
R² - Within	0,1421	0,7531	0,3186	0,2574	0,3714	0,9112
Observaciones	3;176	565	1;087	411	385	50
Efectos Fijos de País	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Número de Grupos	135	23	48	18	16	2

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las regresiones en términos de inferencia estadística son robustos ante la presencia de heterocedasticidad, autocorrelación y formas generales de dependencia de corte transversal en virtud del uso del estimador Driscoll y Kraay (1998). Se destaca que la producción económica en términos per cápita tiene roles diferenciales para cada región del mundo. De forma general podemos sintetizar que el comportamiento global, dado por los resultados de la columna (2), reporta como variables estadísticamente significativas al 5% al producto interno bruto real per cápita, sus términos cuadráticos y cúbicos, la densidad poblacional, el porcentaje de tierras cultivables, el consumo de energía en KWh y la producción de energías renovables. Pero existe heterogeneidad al ser desagregados los resultados por regiones continentales, para algunas regiones no hay significancia estadística en algunas variables.

6. Discusión

Los comportamientos diferenciales, considerando la significancia estadística de la producción económica per cápita, se resumen en la Tabla 6, donde se observa también la evidencia de la forma específica de la curva ambiental de Kuznets para cada región del mundo.

Como se observa de las síntesis de las regresiones consignadas en la Tabla 6, el mundo sigue un patrón general de forma de N, donde los aumentos de la producción económica no conllevan inherentemente a reducciones en las emisiones de CO₂ per cápita, y este comportamiento se replica en Latinoamérica y el Caribe, Europa, Asia Central, el Este de Asia y el Pacífico. Por consiguiente, la relación descrita por la curva ambiental de Kuznets no se cumple a nivel global, y para las regiones mencionadas con anterioridad.

Existe la mención de resultados no concluyentes para Medio Oriente, norte de África y Nor-

Tabla 6. Síntesis del comportamiento ambiental por regiones

Región	Interpretación de Parámetros
Mundo	Forma de N
Latinoamérica y el Caribe	Forma de N
Europa y Asia Central	Forma de N
Medio Oriente y Norte de África	No concluyente
Este de Asia y Pacífico	Forma de N
Norteamérica	No concluyente

Fuente: elaboración propia.

teamérica, las regresiones no apuntaron a coeficientes estadísticamente significativos al 5%. Sería apresurado admitir esto como un resultado concluyente, puesto que es posible que el proceso generador de información sea diferencial para estas regiones. Una cuestión particular es que la variable de consumo energético (medido en KWh) no es estadísticamente significativa al 5% para las regiones continentales de Norteamérica, este de Asia y Pacífico, lo que evidencia resultados no concluyentes.

Latinoamérica y el Caribe presentan también un comportamiento en forma de N de la curva de Kuznets ambiental. Esta situación es estadísticamente significativa al 5%. Así mismo, el modelo de efectos fijos para esta región explica el 75.3% de la asociación lineal entre las variables independientes y el CO₂. La densidad poblacional se encuentra positivamente correlacionada con la contaminación ambiental, lo cual podría ser un indicador de que la masificación en las ciudades y centros urbanos tiende a incrementar las emisiones de CO₂. Esta relación se encuentra en concordancia con el signo negativo del porcentaje de tierras cultivables, estadísticamente significativo y correlacionado negativamente respecto al contaminante de CO₂. Particularmente, con un nivel de significancia del 10%, la producción de energías renovables se encuentra positivamente relacionada con la contaminación a diferencia del resto de regiones del mundo corroborando la idea de heterogeneidades regionales, y en particular un comportamiento heterogéneo para Latinoamérica y el Caribe, tal y como lo evidencia Pablo-Romero y De-Jesus (2016).

Y, finalmente, para el caso particular de Medio Oriente y norte de África, la producción de energías renovables es significativa al 1%, con un efecto negativo sobre la contaminación. Se recomienda que las investigaciones en estos continentes consideren la heterogeneidad implícita en las economías que la componen, y una aproximación adecuada podría ser el análisis de series de tiempo a nivel de país, cuestión que debe ser motivo de investigaciones futuras, en particular, detallar la relación empírica entre energías renovables y contaminación ambiental para Latinoamérica y el Caribe.

7. Conclusiones

La curva Ambiental de Kuznets no se cumple, dada la evidencia empírica de las relaciones entre contaminación (medida por las toneladas métricas de CO₂ per cápita) y la producción económica real per cápita. Esto en virtud del comportamiento a nivel global y regional, que confirma la relación en forma de N de forma general, donde los incrementos de la producción económica no conllevan necesariamente a reducciones en las emisiones de CO₂ per cápita. Esto basado en los comportamientos y pruebas de hipótesis realizadas sobre los coeficientes, a partir de las regresiones restringidas por cada región, con la consideración especial de los errores estándar robustos para la dependencia de corte transversal (estudios anteriores omitían la influencia de este fenómeno y ejecutaban regresiones de efectos fijos u aleatorios, sin considerar que podían invalidarse las pruebas de hipótesis de los estimadores por este fenómeno).

En particular, se concluye que los incrementos en el crecimiento económico, dados por la producción económica real en términos per cápita, no conllevan a reducciones de los niveles de contaminación ambiental por emisiones de toneladas métricas de CO₂ en términos per cápita. La contribución del estudio, considerando la influencia de la dependencia de corte transversal en las regresiones, provee nueva evidencia de que la relación teorizada por Kuznets no es válida empíricamente para este tipo de contaminante, y que el desarrollo económico y la contaminación ambiental no se correlacionan inversamente, como se teorizaba a través del desarrollo de las fuerzas económicas, demarcando comportamientos heterogéneos a lo largo del mundo y de las regiones. Finalmente, se recomienda realizar estudios a nivel de país para las regiones de Medio Oriente y norte de África, junto con Norteamérica, debido a que, por el análisis de panel de datos, no se encontró evidencia concluyente de la relación entre contaminación y crecimiento económico.

Considerando la evidencia empírica para Latinoamérica, se destaca que la curva ambiental de Kuznets presenta relaciones en forma de

N, estadísticamente significativas al 5% y contrarias a su formulación original en forma de U invertida. Dicha evidencia utiliza la medida de contaminación a través de las toneladas métricas de CO₂ per cápita y la producción económica real per cápita. Así mismo, este comportamiento en forma de N se extiende a nivel global y regional. Estableciendo que los incrementos de la producción económica real no conllevan necesariamente a reducciones en las emisiones de CO₂ per cápita.

El análisis de pruebas de hipótesis sobre los coeficientes de los términos lineales y no lineales a partir de las regresiones restringidas por regiones continentales provee evidencia de esta situación. Las estimaciones detectaron la existencia de la dependencia de corte transversal, cointegración, y existencia de efectos fijos, por lo que el estimador Driscoll-Kraay fue utilizado por su consideración especial en el cálculo de los errores estándar robustos para considerar los problemas de autocorrelación, heterocedasticidad y la dependencia de corte transversal (motivado por estudios anteriores que omitían la influencia de este fenómeno y ejecutaban regresiones de efectos fijos u aleatorios, sin considerar que podían invalidarse las pruebas de hipótesis de los estimadores por este fenómeno).

La conclusión más importante del artículo, considerando la disponibilidad de datos a nivel de país, entre las diferentes regiones continentales, es que los incrementos en el crecimiento económico, dados por la producción económica real en términos per cápita, no conllevan necesariamente a reducciones de los niveles de contaminación ambiental medidos por las emisiones de toneladas métricas de CO₂ en términos per cápita. La contribución del estudio igualmente, considera la influencia de la dependencia de corte transversal en las regresiones, en la cual se provee nueva evidencia de que existen relaciones heterogéneas respecto a la magnitud, significancia estadística, y coeficientes entre las regiones continentales, donde aparentemente la relación teorizada

por Kuznets no es válida empíricamente en su forma clásica, es decir, en forma de U invertida, al menos para este tipo de contaminante. El desarrollo económico y la contaminación ambiental no se correlacionan inversamente, como se teorizaba a través del desarrollo de las fuerzas económicas, demarcando comportamientos heterogéneos a lo largo del mundo y de las regiones. Dada la falta de significancia estadística para las regiones de Medio Oriente y norte de África, junto con Norteamérica, se recomienda realizar análisis desagregados de serie tiempo a nivel de país, debido a que por la técnica de análisis de panel de datos, no se encontró evidencia concluyente de la relación entre contaminación y crecimiento económico. A posterior, y conforme la disponibilidad de los datos aumente, se pueden utilizar técnicas como paneles de vectores autorregresivos, o modelos autorregresivos de rezagos distribuidos para observar las dinámicas endógenas de las variables; sin eliminar de la muestra los países pobres o en vías de desarrollados, debido a que estos últimos son los que tienen problemas de datos perdidos para diversos periodos de tiempo.

Los resultados ponen de manifiesto que la política pública no puede valerse a partir de la hipótesis de crecimiento económico para solventar los problemas ambientales. En este sentido, la política pública debe enfocarse en estimular los cambios de tecnológicos y la supervisión ambiental en los procesos productivos, involucrando toda la cadena de producción hasta el tratamiento y manejo de residuos.

Referencias

- Al-Mulali, U., Tang, C. F., & Ozturk, I. (2015). Estimating the environment Kuznets curve hypothesis: evidence from Latin America and the Caribbean countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 918-924. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.017>
- Albulescu, C., Tiwari, A., Yoon, S. y Kang, S. (2019). FDI, income, and environmental pollution in Latin America: Replication and extension using panel quantiles regression analysis. *Energy Economics*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104504>

- Andrade, G., Ramón, D., Roldán, D., & Sarmiento, J. Institutional Variables in the Kuznets Environmental Curve: A Study of Latin America.
- Arellano, M. (2003), *Panel Data Econometrics*, Oxford University Press.
- Arellano, M. (2009). *Static Panel Data Models, Class Notes*. <https://www.cemfi.es/~arellano/static-panels-class-note.pdf>
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Folke, C., Holling, C. S., Janson, B., Levin, S., Maler, K., Perrings, C. y Pimental, D., (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2), 91-95. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3)
- Baltagi, B. H. (2005) *Econometric Analysis of Panel Data*, John Wiley & Sons, Ltd: Southern Gate, Third Edition.
- Banco Mundial (2021) *Datos de libre acceso del Mundial*. <https://datos.bancomundial.org/>
- Banco Mundial (2020) Country Metadata, World Integrated Trade Solution. Recuperado de: https://wits.worldbank.org/wits/wits/help/content/codes/country_codes.htm
- Beaudreau, B. C., & Lightfoot, H. D. (2015). The physical limits to economic growth by R&D funded innovation. *Energy*, 84, 45-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.118>
- Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?. *World development*, 20(4), 481-496. DOI: [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90038-W](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W)
- Beck, N. & Katz, J. N. (1995) What to do (and not to do) with time-series cross-section data, *American Political Science Review*, 89, pp. 634-647.
- Ben Jebli, M., Ben Youssef, S., & Ozturk, I. (2016). Testing environmental Kuznets curve hypothesis: The role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. *Ecological Indicators*, 60(2016), 824- 831. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.031>
- Catalán, H. (2014) Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable, *Economía Informa*, 389(1), pp. 19-37. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)72172-3](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)72172-3)
- Cancelo, M. & Diaz-Vázquez, M. (2009). Emisiones De CO₂ Y Azufre Y Crecimiento Económico: ¿Una Curva De Kuznets Ambiental?. Faculty of Economics and Business Administration, University of Santiago de Compostela (Spain). *Regional and Sectoral Economic Studies*.
- Cruz, D. (2009). Aproximación de una Curva de Kuznets Ambiental para Colombia. Universidad de los Andes. Facultad de Economía. 200323584. Bogotá, 2009
- Dinda, S. (2004) Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics* 49(2004), pp. 431-455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Dasgupta, S., Laplante, B. y Meisner, C. (2001) Accounting for Toxicity Risks in Pollution Control: Does It Matter? *Journal of Environmental Management*. Forthcoming.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2001) Confronting the Environmental Kuznets Curve, *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), p.p. 147-168. DOI: 10.1257/0895330027157
- Distefano, T., & Kelly, S. (2017). Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. *Ecological Economics*, 142, 130-147.
- Driscoll, J. C. & Kraay, A. C. (1998) Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data, *Review of Economics and Statistics*, 80(1), pp. 549-560.
- Ekins, P. (1993). 'Limits to growth'and 'sustainable development': grappling with ecological realities. *Ecological Economics*, 8(3), 269-288.

- Govett, G. J. S., & Govett, M. H. (1972). Mineral resource supplies and the limits of economic growth. *Earth-Science Reviews*, 8(3), 275-290.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. (1995) Economic Growth and the Environment, *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), pp. 353-377. DOI: <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Hoechle, D. (2007) Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence, *Stata Journal*, 7(3), pp. 281-312. DOI: <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700301>
- Hettige, H., Martin, P., Singh, M. & Wheeler, D. (1995). IPPS: The Industrial Pollution Projection System. World Bank, Policy Research Department Working Paper No. 1431.
- Hettige, M. and Wheeler, D. (1996) An Environmental Performance Analysis System for Industrial Plants in Mexico." Development Research Group, World Bank, Washington, D.C., mimeo.
- Hwang, Y. K. (2022). The energy-growth nexus in 3 Latin American countries on the basis of the EKC framework: in the case of Argentina, Brazil, and Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-22.
- Jahanger, A., Usman, M., & Ahmad, P. (2022). Investigating the effects of natural resources and institutional quality on CO2 emissions during globalization mode in developing countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-20.
- Katircioglu, S., & Katircioglu, S. (2018). Testing the role of urban development in the conventional Environmental Kuznets Curve: evidence from Turkey. *Applied Economics Letters*, 25(11), 741-746.
- John, A., Pecchenino, R., 1994. An overlapping generations model of growth and the environment. *Economic Journal* 104 (427), 1393-1410.
- Kijima, M., Nishide, K., Ohyama, A. (2010) Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34(2010), pp. 1187-1201, DOI: 10.1016/j.jedc.2010.03.010
- Kmenta, J. (1986) *Elements of Econometrics*. 2nd ed. New York: Macmillan
- Kao, C. (1999) Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data, *Journal of Econometrics*, 90(1), pp. 1-44. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Kuznets, S. (1955) Economic growth and income inequality. *American Economic Review* 45(1), pp. 1-28. Recuperado de: <http://links.jstor.org/sici?sici=0002-8282%28195503%2945%3A1%3C1%3AEGAI%3E2.0.CO%3B2-Y>
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez-Braza, A., & Gil-Pérez, J. (2023). Is deforestation needed for growth? Testing the EKC hypothesis for Latin America. *Forest Policy and Economics*, 148, 102915.
- Parks, R. (1967) Efficient Estimation of a System of Regression Equations When Disturbances Are Both Serially and Contemporaneously Correlated. *Journal of the American Statistical Association*, 62(1), pp. 500-509
- Panayotou, T. (1992). *Environmental Kuznets curves: empirical tests and policy implications*. Cambridge: Harvard Institute for International Development, Harvard University.
- Lopez, R. (1994) The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), pp. 163-184.
- McConnell, K.E. (1997) Income and the demand for environmental quality. *Environment and Development Economics*, 2(4), pp. 383-399.
- Newey, W. K., and K. D. West. 1987. A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica* 55: 703-708.
- Olivares Mendoza, J. A., & Hernández Rodríguez, C. (2021) ¿La curva ambiental de Kuznets sigue siendo

válida para explicar la degradación? Una revisión teórica. *Economía Coyuntural*, 6(3), 3-52. Recuperado en 10 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222021000300003&lng=es&tlng=es

- Pablo-Romero, M. D. P., & De Jesús, J. (2016). Economic growth and energy consumption: The energy-environmental Kuznets curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343-1350.
- Powell, D. (2016). RAND Corporation From the SelectedWorks of David Powell Quantile regression with nonadditive fixed effects quantile regression with nonadditive fixed effects*.
- Roca, J. & Padilla, E. (2003). Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La Curva de Kuznets Ambiental y el Protocolo de Kyoto. *Economía industrial*, (351), 73-86.
- Sapkota, P., & Bastola, U. (2017). Foreign direct investment, income, and environmental pollution in developing countries: Panel data analysis of Latin America. *Energy Economics*, 64, 206-212.
- Sarafidis, V. & Wansbeek, T. (2012) Cross-Sectional Dependence in Panel Data Analysis, *Econometric Reviews*, 31(5), pp. 483-531. DOI: <https://doi.org/10.1080/07474938.2011.611458>
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). A review on environmental Kuznets curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis. *Science of the total environment*, 649, 128-145.
- Selden, T.M., & Song, D., 1995. Neoclassical growth, the J curve for abatement and the inverted U curve for pollution. *Journal of Environmental Economics and Management* 29 (2), 162-168.
- Shahbaz, M., & Sinha, A. (2019). Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: a literature survey. *Journal of Economic Studies*, 46(1), 106-168. <https://doi.org/10.1108/JES-09-2017-0249>
- Sheimbaum, C., Ruíz, B. J., & Ozawa, L. (2010) Energy consumption and related CO₂ emissions in five Latin American countries: Changes from 1990 to 2006 and perspectives. *Energym* 36(6), pp. 3629- 3638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.023>
- Spencer, H. & Andrew, B.(2010). Heterogeneous Harm Vs. Spatial Spillovers: Environmental Federalism And Us Air Pollution. National Bureau Of Economic Research 1050 Massachusetts Avenue Cambridge, MA 02138 January 2010. Recuperado de: <http://www.nber.org/papers/w15666>
- Stern, D. I., Auld, A., Common M. S., & Sanyal, K. K. (1998) Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur?. Working Papers in Ecological Economics, 9804, Center for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra.