

Impacto de los sectores económicos en la huella ecológica global: regresión cuantílica

Impact of economic sectors on global ecological footprint: Quantile regressions

Viviana del Cisne Torres-Díaz

Docente e investigadora de la Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador

Candidata a Doctora en Análisis Económico y Estrategia Empresarial, Facultad de Economía y Empresa,

Universidad de Vigo, Campus Universitario, s/n, 36310 Vigo, España

vitorresdi@uide.edu.ec; vivianacisne.torres@uvigo.es

<https://orcid.org/0000-0002-2276-4699>

<https://ror.org/04xf2rc74> / <https://ror.org/05rdf8595>

José Álvarez-García

Catedrático de la Universidad de Extremadura, España

Departamento de Economía Financiera y Contabilidad, Instituto Universitario de Investigación para el Desarrollo

Territorial Sostenible (INTERRA), Universidad de Extremadura, 10071 Cáceres, España

pepealvarez@unex.es

<https://orcid.org/0000-0002-0056-5488>

<https://ror.org/0174shg90>

María de la Cruz del Río-Rama

Catedrática de la Universidad de Vigo, España

Departamento de Dirección de Empresas y Marketing, Facultad de Ciencias Empresariales y Turismo, Universidad de

Vigo, As Lagoas s/n, 32004 Ourense, España

delrio@uvigo.es

<https://orcid.org/0000-0002-9396-9341>

<https://ror.org/05rdf8595>

Recibido: 29/04/26 **Revisado:** 15/06/26 **Aprobado:** 11/08/26 **Publicado:** 01/10/26

Resumen: el actual deterioro ambiental demanda indicadores capaces de capturar el impacto real que las economías ejercen sobre los ecosistemas. Por ello, la huella ecológica se emplea como una métrica integral que vincula la producción, el consumo y la biocapacidad de los territorios, no obstante, la literatura no ha examinado cómo afectan en conjunto los tres sectores económicos a la huella ecológica. Este estudio analiza el impacto del valor agregado de la agricultura, la industria y los servicios sobre la huella ecológica de 101 países entre 2010 y 2024. Los resultados confirman cointegración de largo plazo en los grupos de ingreso alto, medio alto y bajo. En los cuantiles, la agricultura muestra un efecto negativo y significativo en toda la distribución; la industria es negativa en el percentil 10 y positiva a partir del 20; y los servicios presentan un efecto positivo y decreciente, no significativo en el percentil 90. El modelo GLS confirma la dirección de estos resultados a nivel global, aunque introduce heterogeneidad relevante por grupo de ingreso para los tres sectores. Estos hallazgos respaldan el uso de la huella ecológica como medida integral al demostrar que la relación entre el cambio estructural y la sostenibilidad depende del nivel de ingreso y la posición ecológica del país, lo que exige políticas diferenciadas orientadas a industrias limpias, servicios verdes y agricultura sostenible.

Palabras clave: valor agregado, sectores económicos, huella ecológica, regresión cuantílica, sostenibilidad ambiental.

Cómo citar: Torres-Díaz, V. del C., Álvarez-García, J. y del Río-Rama, M. de la C. (2026). Impacto de los sectores económicos en la huella ecológica global: regresión cuantílica. *Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 16(32), pp. 311-327. <https://doi.org/10.17163/ret.n32.2026.06>

Abstract: the current environmental degradation demands indicators capable of capturing the real impact that economies exert on ecosystems. For this purpose, the ecological footprint is used as a comprehensive metric that links production, consumption, and the biocapacity of territories. However, the literature has not examined how the three economic sectors collectively affect the ecological footprint. This study analyzes the impact of the value added of agriculture, industry, and services on the ecological footprint of 101 countries between 2010 and 2024. The results confirm long-term cointegration across high, upper-middle, and low income groups. In the quantiles, agriculture shows a significant negative effect across the entire distribution; industry is negative at the 10th percentile and positive from the 20th percentile onward; and services show a decreasing positive effect, not significant at the 90th percentile. The GLS model confirms the direction of these results globally, although it introduces relevant heterogeneity by income group for all three sectors. These findings support the use of the ecological footprint as a comprehensive measure by demonstrating that the relationship between structural change and sustainability depends on the level of income and the ecological position of the country, which requires differentiated policies aimed at clean industries, green services and sustainable agriculture.

Keywords: gross value added, economic sectors, ecological footprint, quantile regression, environmental sustainability.

Introducción

Global Footprint Network (2026) estimó que para finales de 2025 la huella ecológica mundial fue alrededor de 2,65 hectáreas globales per cápita y la biocapacidad fue de apenas 1,49 hectáreas globales per cápita, con un componente de carbono que representa más del 60 % del total. Este sobregiro ecológico describe que la humanidad consume recursos y genera residuos más rápido de lo que la Tierra puede regenerarlos y absorberlos (Merz et al., 2023). Este desequilibrio se asocia con pérdida de biodiversidad, cambio climático, deforestación, agotamiento pesquero y degradación del suelo (Destek y Sarkodie, 2019). Además, la carga está distribuida de forma desigual, ya que las naciones ricas que concentran el 15 % de población mundial aportan más del 40 % del sobregiro ecológico; mientras que, los países más pobres aportan una mayor proporción del déficit social (Fanning y Raworth, 2025).

La literatura existente presenta tres limitaciones críticas que impiden comprender adecuadamente la relación entre la estructura económica por sectores y la huella ecológica. Primero, la mayor parte de estudios globales continúan utilizando CO₂ como variable proxy única de degradación ambiental, ignorando la naturaleza multidimensional de la presión ecológica (Yılancı et al., 2022; Alper et al., 2023; Kongbuamai et al., 2021; Destek y Sarkodie, 2019). Segundo, los análisis sectoriales se realizan de forma separada enfocándose exclusivamente en agricultura, industria o servicios sin proporcionar comparación integrada global (Usman et al., 2022; Adekoya et al., 2022; Dogan et al., 2020). Tercero, los enfoques econométricos con-

vencionales estiman efectos promedio, ignorando si los impactos sectoriales difieren entre países con huellas bajas versus altas (Dinga, 2023; Chowdhury et al., 2021; You y Lv, 2018).

La estructura económica básica de las cuentas nacionales se centra en el valor agregado de la agricultura, industria y servicios, lo cual permite comparar entre naciones y a lo largo del tiempo (Masud y Enam, 2023; Azam et al., 2021). De acuerdo con Usman et al. (2022), Adekoya et al. (2022) y Muoneke et al. (2022), este enfoque es pertinente porque la agricultura combina funciones productivas esenciales con fuertes presiones sobre agua, suelo, biodiversidad y gases de efecto invernadero. You y Lv (2018), Dogan et al. (2020) y Torres-Díaz et al. (2025) evidencian que la industria es central para el crecimiento, pero su expansión suele intensificar el uso de energía, combustibles fósiles y las emisiones de carbono. Ehigiamusoe et al. (2025), Sahoo et al. (2024) y Kouton et al. (2024) manifiestan que los servicios pueden intensificar la huella ecológica en el corto plazo, pero reducirla a largo plazo cuando la terciarización se acompaña de eficiencia, innovación y menor intensidad material. Wu et al. (2022) y Kazemian et al. (2024) destacan que esta agregación no reemplaza estudios empíricos por subsectores o cadenas de suministro, pero sí ofrece un punto de partida sólido, comparable y teóricamente definible para examinar la transformación estructural y su impacto ambiental.

En este contexto, este estudio analiza el impacto sectorial de la agricultura, la industria y los servicios sobre la huella ecológica en un panel global de 101 países para el periodo 2010-2024. La variable dependiente es la huella ecológica,

mientras que las variables explicativas centrales son el valor agregado agrícola, industrial y de servicios. La estrategia empírica parte de comprobar independencia transversal, la cointegración a largo plazo y, por último, se estiman regresiones de cuantiles con efectos fijos, lo cual permite identificar elasticidades sectoriales distintas en la distribución de la huella ecológica.

Este trabajo presenta tres aspectos principales de contribución científica. Primero, utiliza la huella ecológica como indicador holístico para medir la sostenibilidad ambiental, ampliando la evaluación del deterioro más allá de las emisiones de carbono. Segundo, ofrece una comparación sectorial simultánea para la agricultura, la industria y los servicios en una muestra global amplia, lo que mejora la representatividad del análisis. Tercero, incorpora una regresión de cuantiles capaz de captar heterogeneidad no observable y efectos asimétricos entre países con distintos niveles de presión ecológica, una dimensión que los estimadores centrados en promedio no logran recuperar plenamente. A continuación, se presenta el marco teórico que fundamenta las hipótesis y el modelo propuesto:

Huella ecológica

Algunos autores, como Torres-Díaz et al. (2025), argumentan que la degradación ambiental actual requiere indicadores que puedan captar la presión total que todas las economías ejercen sobre los ecosistemas, más allá de las aproximaciones parciales que se enfocan en las emisiones de CO₂. En este contexto, la huella ecológica es una medida integral porque combina la producción, el consumo y la biocapacidad de los territorios (Destek y Sarkodie, 2019). Esto permite examinar simultáneamente las presiones sobre carbono, suelo, agua y recursos biológicos (Alvarado et al., 2021). Además, estudios recientes, como los de Yaxin y Hassan (2025), Yılcı et al. (2022), Alper et al. (2023), Kongbuamai et al. (2021) y Destek y Sarkodie (2019) han usado la huella ecológica para evaluar efectos del crecimiento económico, la energía, el comercio, la complejidad productiva y la estructura sectorial.

Desde la perspectiva económica ambiental, la relación entre estructura productiva y deterioro ecológico sigue siendo un desafío sin resolver. La tradicional Curva Ambiental de Kuznets (EKC) planteó que el crecimiento puede modificar su impacto ambiental a medida que cambian la composición sectorial, la tecnología y las instituciones, pero la evidencia reciente muestra que esa transición no es automática ni uniforme entre países (Wang et al., 2021). En particular, la urbanización, la apertura comercial, la intensidad energética y la dotación de recursos naturales alteran la forma en que el crecimiento se traduce en huella ecológica, y lo hacen con patrones diferenciados entre grupos de ingreso y niveles de presión ambiental (Wang et al., 2021; Chu y Hoang, 2021).

Estructura sectorial

Este eje teórico parte de que la agricultura, industria y servicios no generan la misma presión ecológica, porque difieren en intensidad energética, uso de tierra, demanda de agua, composición tecnológica y patrones de consumo (Pea-Assounga et al., 2025). En agricultura, la evidencia es heterogénea. Diversos estudios encuentran que el valor agregado agrícola y la intensificación productiva tienden a aumentar la huella ecológica cuando predominan prácticas convencionales, expansión de frontera agrícola y alta presión sobre tierra y agua (Pea-Assounga et al., 2025; Usman et al., 2022; Sahoo et al., 2024). No obstante, otros trabajos muestran que ese efecto puede moderarse o incluso revertirse cuando la actividad agrícola incorpora mejoras tecnológicas, regulación ambiental o incorporación en cadenas globales de valor, especialmente en países de ingreso medio y bajo (Xu et al., 2023).

La industria es la variable más relacionada con mayores niveles de huella ecológica. Según You y L., (2018), Dogan et al. (2020), Torres-Díaz et al. (2025) y Sahoo et al. (2024) esto se debe a su alto consumo energético, uso de combustibles fósiles, transporte y presión sobre la biocapacidad. Pea-Assounga et al. (2025) y Liao et al. (2022) encontraron que el impacto varía y

podría ser mayor en contextos con más industrialización o dependencia energética convencional. Este patrón refuerza la idea de que la transformación industrial solo mejora su desempeño ambiental con innovación verde, transición energética y marcos regulatorios exigentes (Liao et al., 2022).

El sector servicios muestra diversos puntos de vista. Ehigiamusoe et al. (2025) y Wang et al. (2021) muestran que los servicios pueden aumentar la huella ecológica a través de la expansión urbana, infraestructura, movilidad, consumo final y demanda energética indirecta. Sin embargo, Sahoo et al. (2024) y Ehigiamusoe et al. (2025) resaltan que los servicios pueden disminuir la huella ecológica a largo plazo cuando se combinan con digitalización, innovación, tecnologías verdes, eficiencia energética y cambios en la demanda. Por lo tanto, el impacto ambiental del sector terciario debe verse como no lineal y dependiente del desarrollo, la tecnología y la política del país.

Heterogeneidad

Los efectos sectoriales no son iguales en todos los países ni a lo largo de la distribución de la huella ecológica (Alvarado et al., 2021). Los estudios de Kazemzadeh et al. (2022) y Yaxin y Hassan (2025) muestran que una misma variable puede aumentar la presión ecológica en cuantiles bajos y moderarse o revertirse en cuantiles altos, o cambiar de signo según el grupo de ingreso. Por eso, la regresión de cuantiles de panel es una estrategia adecuada para captar la heterogeneidad y los efectos asimétricos que no se recuperan bien con estimadores de media (Chowdhury et al., 2021; Liao et al., 2022).

Desde una perspectiva econométrica, esta heterogeneidad justifica el uso de regresiones de cuantiles en datos de panel con efectos fijos. Usman et al. (2022) y Chu y Hoang (2021) manifiestan que los estimadores centrados en la media no manejan bien las respuestas asimétricas ni las diferencias no observadas entre países. Yang et al. (2023) afirman que cuando hay efectos no aditivos, estructuras latentes de grupos o respuestas diferenciadas según el

cuantil, los modelos lineales promedio son más sensibles a sesgos y a la influencia de valores atípicos. Además, Ahmad et al. (2024) demuestran que los marcos no lineales confirman que los choques positivos y negativos de variables económicas y energéticas no producen efectos simétricos. Esto refuerza la utilidad de especificaciones flexibles sobre modelos lineales tradicionales.

Materiales y método

Esta investigación usa datos anuales de organizaciones internacionales como la Red Global de Huella Ecológica (Global Footprint Network, 2026) y el Banco Mundial (2026). Se analizaron 101 economías a nivel mundial entre 2010 y 2024, seleccionadas según disponibilidad de información estadística. La muestra es un panel balanceado con 1515 observaciones, lo que asegura la comparabilidad entre países y periodos. La muestra se clasifica según el Método Atlas del Banco Mundial (2026) en cuatro grupos: Países de Ingreso Alto (HIC), Países de Ingreso Medio Alto (UMI), Países de Ingreso Medio Bajo (LMI) y Países de Ingreso Bajo (LIC). Esta clasificación permite contrastar heterogeneidades en los resultados empíricos según el nivel de desarrollo.

La variable dependiente es la huella ecológica de consumo medida a escala total nacional y expresada en hectáreas globales (gha); mientras que, las variables explicativas medidas por el valor agregado bruto de la agricultura, de la industria y de los servicios están expresadas en dólares estadounidenses corrientes, de acuerdo con la información disponible en el Banco Mundial (2026), y posteriormente transformadas a logaritmos naturales. Esta decisión metodológica responde a que las series en dólares corrientes constituyen la única versión con cobertura homogénea para todos los países, variables y años incluidos en el panel de estudio. El uso de estas series permitió preservar la consistencia de la muestra y evitar una reducción sustancial del número de observaciones que habría resultado de emplear series en precios constantes, cuya disponibilidad es incompleta para el conjunto

de variables analizadas. Dado que el objetivo del estudio es evaluar la relación entre la actividad económica sectorial y la huella ecológica, y no estimar el crecimiento real de la producción, esta especificación es apropiada y asegura la comparabilidad entre las variables monetarias del modelo. Con base en esto, se plantea el siguiente modelo empírico:

$$HE=f(VBA,VBI,VBS) \quad (1)$$

donde HE representa la huella ecológica, y VBA , VBI , VBS corresponden al valor agregado de agricultura, industria y servicios. Este modelo se transforma en una especificación estocástica:

$$\ln HE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln VBA_{it} + \beta_2 \ln VBI_{it} + \beta_3 \ln VBS_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

donde α es la intersección del modelo, μ es el término de error, i representa el país y t representa los años. Todas las variables se expresan en logaritmos naturales, lo que permite interpretar los coeficientes estimados como elasticidades. Además, se incluyen efectos fijos por país para capturar la heterogeneidad no observada y los efectos temporales comunes. Esta estructura es coherente con la idea de que los países difieren en características invariables relacionadas con su estructura productiva, regulación ambiental y recursos disponibles. Asimismo, para asegurar la robustez de las estimaciones y reducir el sesgo por variables omitidas, se incorporan variables de control como el PIB per cápita, la población y la apertura comercial.

• Prueba de dependencia transversal

Además, dada la naturaleza global del panel, se analiza la dependencia transversal mediante la prueba CD propuesta por Pesaran et al. (2004) y Pesaran (2015). Se rechaza la hipótesis nula de independencia transversal al 1 % de nivel de significancia, lo que indica correlación entre países y justifica el uso de técnicas de panel de segunda generación robustas a la dependencia

transversal. Ignorar la dependencia transversal en paneles globales puede conducir a inferencias sesgadas, por lo que su tratamiento explícito fortalece la fiabilidad de los resultados empíricos (Hoechle, 2007).

• Prueba de raíz unitaria

Para determinar si las series son estacionarias o no e identificar su orden de integración se implementaron las pruebas de raíz unitaria de segunda generación. A diferencia de las pruebas de primera generación, estas permiten capturar la dependencia de sección cruzada, un fenómeno común en datos panel de diferentes países o regiones. Se utilizó la prueba de Pesaran (2007), que propone un estadístico basado en la media de las pruebas Dickey-Fuller Aumentadas (CADF) de cada sección cruzada. El modelo se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta y_{i,t} = a_i + r_i y_{i,t-1} + g_i X_{t-1} + \sum_{j=0}^k d_{ij} \Delta X_{t-j} + \sum_{j=1}^k h_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Donde X_{t-1} y ΔX_{t-j} y son los promedios de las secciones cruzadas para mitigar la correlación entre unidades. De manera complementaria, se aplicó la prueba CIPS (Cross-sectionally Augmented IPS) de Pesaran (2007). Esta prueba refina la anterior al proporcionar un estadístico robusto para paneles donde N y T y son de tamaños moderados. El estadístico CIPS se calcula como el promedio simple de los estadísticos individuales de las regresiones CADF. La ecuación se ve de esta manera:

$$CIPS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CADF_i \quad (4)$$

Ambas pruebas se ejecutaron bajo dos especificaciones: constante y constante – tendencia.

• Prueba de cointegración

Para analizar la existencia de una relación a largo plazo, se aplicó la prueba de cointegración de Westerlund (2007), ya que es robusta frente a la heterogeneidad del panel y la dependencia transversal, lo que la hace adecuado para un conjunto global de países. La prueba de Westerlund se implementa condicionada a la confirmación de que las variables son predominantemente $I(1)$, satisfaciendo así la condición necesaria para el análisis de cointegración de panel. El modelo de corrección de errores asociado se expresa como:

$$\Delta HE_{it} = \theta_i d_i + \pi_i (HE_{i,t-1} - \beta_1 VBA_{i,t-1} - \beta_2 VBI_{i,t-1} - \beta_3 VBS_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^m \pi_{ij} \Delta HE_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \phi_{ij} \Delta Z_{i,t-j} + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

donde d_i agrupa componentes deterministas (como constantes o tendencias) e i representa el coeficiente de corrección de errores. La significancia estadística y el valor negativo del coeficiente de corrección de errores π_i indican la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables. Un parámetro de ajuste significativo demuestra que las desviaciones a corto plazo del equilibrio se corrigen sistemáticamente con el tiempo. Tras confirmar la cointegración, los coeficientes a largo plazo derivados de los modelos econométricos representan relaciones de equilibrio estables entre la actividad económica sectorial y la huella ecológica.

• Regresión de cuantiles

Para examinar de qué manera los impactos ambientales varían entre países con diferentes niveles de presión ecológica, este estudio emplea la regresión de cuantiles propuesta por Machado y Silva (2019), con efectos fijos. A diferencia de los estimadores de media condicional, este enfoque permite modelar la distribución condicional completa de la variable dependiente, capturando efectos heterogéneos y asimétricos. Formalmente, la función de cuantil condicional se puede expresar de la siguiente manera:

$$O_\tau(\ln HE_{it} | (X_{it})) = (\alpha_i + d_i q_\tau) + X'_{it} b + Z'_{it} g q_\tau \quad (6)$$

Donde X_{it} representa el vector de variables explicativas, α_i y d_i capturan los efectos fijos individuales de cada país, q_τ es el cuantil τ -ésimo de la distribución del término de error; y, z es un vector de transformaciones diferenciadas de x .

• Análisis de robustez

Para garantizar la estabilidad de los coeficientes sectoriales y mitigar el riesgo de sesgo por variables omitidas, se estimó un modelo extendido que incorpora controles macroeconómicos clave. Para las estimaciones de robustez, se consideran tres variables de control adicionales: (i) PIB per cápita, que muestra el efecto de escala del crecimiento económico; (ii) población total, que muestra cómo la presión demográfica afecta a los recursos naturales; y (iii) apertura comercial, que es la suma de las exportaciones e importaciones como porcentaje del PIB y muestra el grado de integración del país en los mercados internacionales. Para asegurar su coherencia con la especificación de referencia, se transforman en logaritmos naturales. Por lo tanto, el modelo de robustez extendido se especifica de la siguiente manera:

$$\ln HE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln VBA_{it} + \beta_2 \ln VBI_{it} + \beta_3 \ln VBS_{it} + \beta_4 \ln PIB_{it} + \beta_5 \ln POB_{it} + \beta_6 \ln COM_{it} + \mu_{it} \quad (7)$$

Adicionalmente, se empleó el estimador de Mínimos Cuadrados Generalizados (GLS), que corrige la heterocedasticidad y la autocorrelación en datos de panel. La obtención de resultados similares con diferentes métodos demuestra la solidez y fiabilidad de los hallazgos. Para la ejecución del análisis empírico, el procesamiento de datos y la estimación de pruebas estadísticas y modelos de este estudio se utilizaron los softwares Stata y R. La elección de estas herra-

mientas se justifica por su robustez computacional, su precisión en el manejo de estructuras de datos complejas y la disponibilidad de comandos avanzados para la econometría de panel de segunda generación.

Resultados y discusión

Resultados

La tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de las variables estudiadas. El logaritmo de la huella ecológica (lnHE) tiene un valor medio de 17.632 y una baja desviación estándar. En cuanto a los logaritmos naturales de las variables independientes, el valor agregado agrícola

(lnVBA) promedio es de 25.572 con una variabilidad moderada, mientras que el valor agregado industrial (lnVBI) promedio es de 26.967 con una desviación estándar de 3.653. El valor agregado de los servicios (lnVBS) presenta una media de 27.731 y una variabilidad de 3.471. Por otra parte, las variables de control muestran los patrones esperados. Las medias del logaritmo natural del PIB per cápita (lnPIB) y de la población (lnPOB) son de 11.873 y 16.373, respectivamente, lo que indica diferencias significativas en los niveles de ingresos y tamaño de la población en los países. Finalmente, la apertura comercial (lnCOM) tiene una media de 4.285 y una desviación estándar de 0.504, lo que indica que existe variación en el grado de integración con los mercados globales.

Tabla 1
Descriptivos de los datos panel

Definición	Variable	Unidad de medida	Fuente	Obs.	Media	Desv. Est.	Mín.	Máx.
Huella Ecológica	lnHE	Hectáreas globales (gha) de consumo total nacional	Global Foot-print Network (2025)	1.515	17.632	1.632	12.505	22.416
Valor agregado bruto agrícola	lnVBA	UMN a precios actuales	Banco Mundial	1.515	25.572	3.895	13.045	35.565
Valor agregado bruto industria	lnVBI	UMN a precios actuales	Banco Mundial	1.515	26.967	3.653	13.812	36.702
Valor agregado bruto servicios	lnVBS	UMN a precios actuales	Banco Mundial	1.515	27.731	3.471	14.840	36.809
PIB per cápita	lnPIB	UMN a precios actuales	Banco Mundial	1.515	11.873	2.473	6.234	17.942
Población total	lnPOB	Total población	Banco Mundial	1.515	16.373	1.812	10.784	21.095
Apertura comercial	lnCOM	Porcentaje del PIB	Banco Mundial	1.515	4.285	0.504	2.752	6.021

En la figura 1 se presenta la media de la huella ecológica y la estructura sectorial por grupo de ingreso en el periodo 2010-2024. El análisis comparativo mediante diagramas de dispersión bidimensional permite identificar de forma continua las dinámicas que vinculan la especialización económica con la presión ambiental. Al examinar la gráfica del valor agregado industrial (a) se observa que los países de ingresos bajos y medios

bajos se sitúan casi en su totalidad en la base de la escala industrial, mientras que los países de ingresos altos y medios altos monopolizan el cuadrante de alta intensidad industrial y elevada huella ecológica. Por otro lado, la gráfica del valor agregado agrícola (b) presenta una polarización espacial donde las economías de ingresos bajos y medianos bajos se concentran de manera masiva en los niveles más altos de intensidad agrícola,

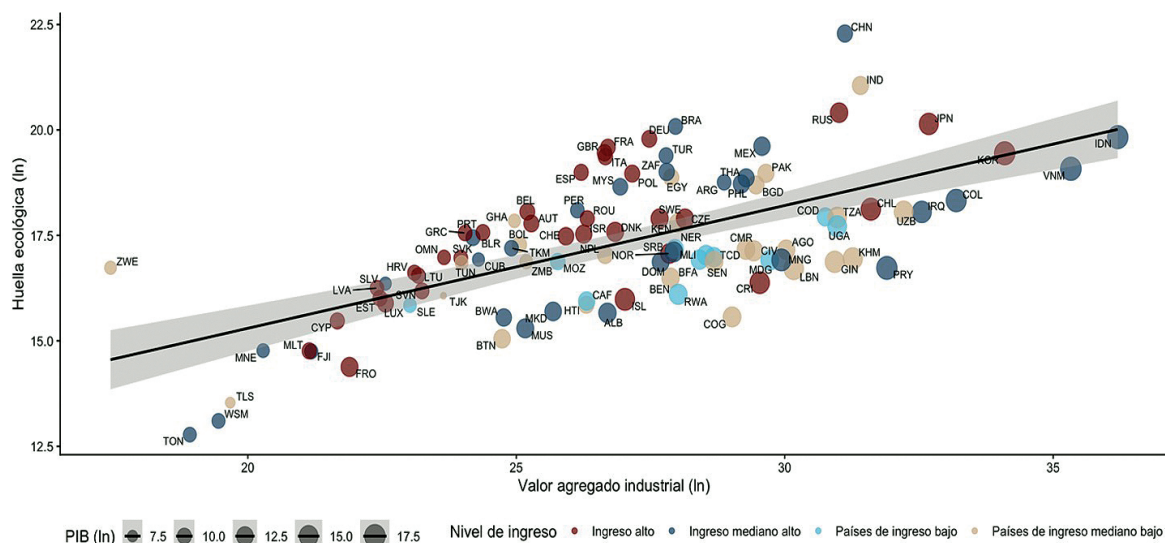
registrando huellas ecológicas moderadas; por el contrario, las potencias de ingresos altos se estabilizan en una escala agrícola intermedia, pero exhiben huellas ecológicas notablemente superiores. Finalmente, la gráfica del valor agre-

gado de servicios (c) revela la distribución más polarizada en términos de afluencia económica y escala, caracterizada por la concentración de las burbujas de mayor diámetro (mayor PIB per cápita) en el extremo derecho de la distribución.

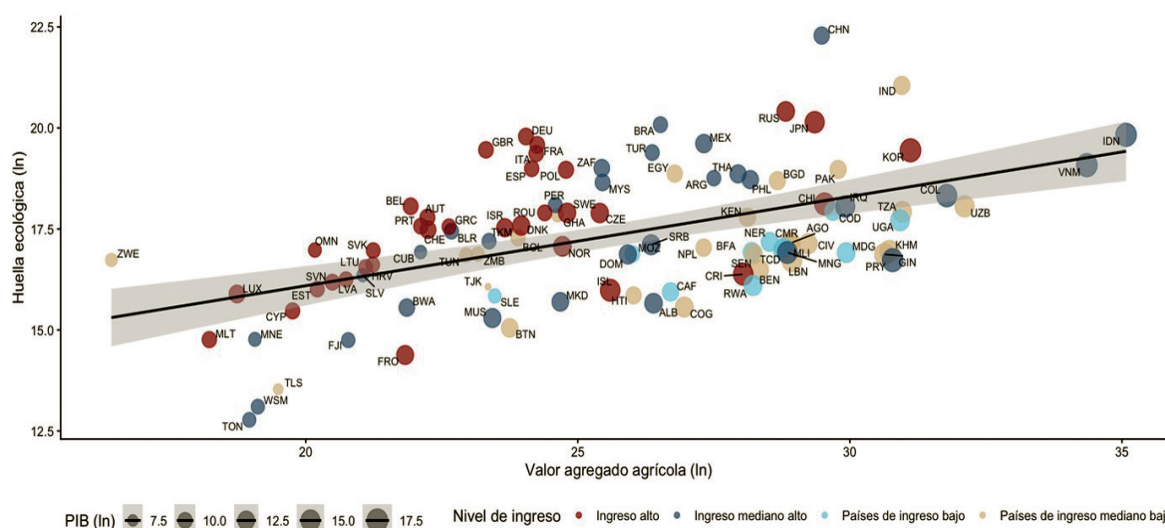
Figura 1

Media de la huella ecológica y estructura sectorial por grupo de ingreso en el periodo 2010-2024

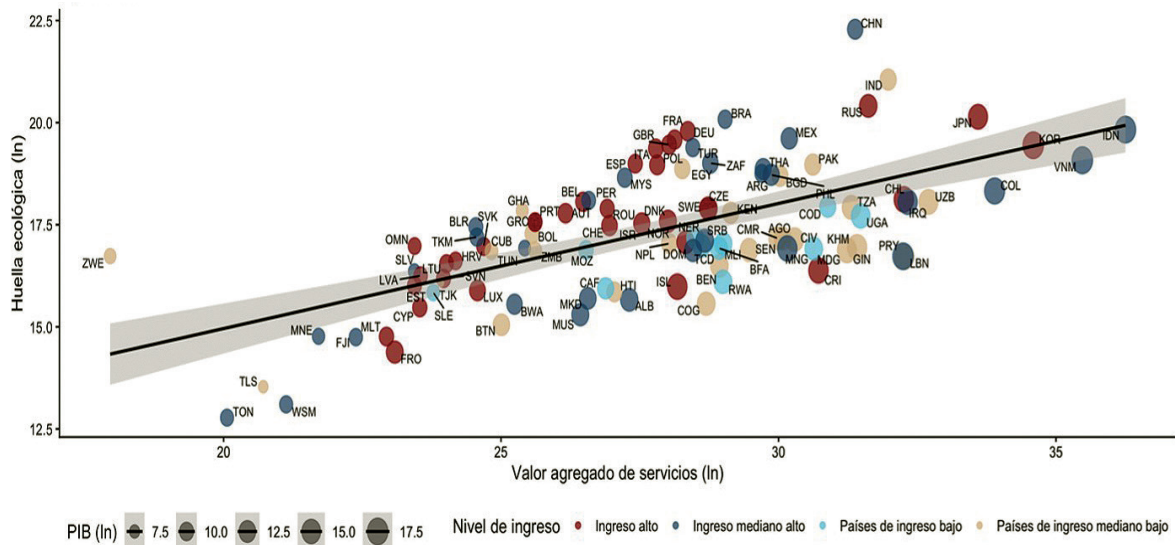
(a) Industria



(b) Agricultura



(C) Servicios



Nota. Elaboración propia con base en datos de Global Footprint Network (2026) y Banco Mundial (2026).

La tabla 2 presenta los resultados de las pruebas de dependencia transversal donde se rechaza la hipótesis nula de independencia en todas las variables, con estadísticos CD significativos al 1 % en ambos contrastes de Pesaran. La huella ecológica registra un CD de 39.46 en la prueba de 2004 y de 39.45 en la de 2015. El valor agregado agrícola, industrial, de servicios y las variables

de control PIB per cápita, población y apertura comercial también presentan valores CD elevados y p-valores iguales a 0.000, lo que confirma correlación contemporánea entre países. Este hallazgo es fundamental para la estrategia empírica, ya que confirma que el uso de la econometría de panel estándar de primera generación produciría estimaciones sesgadas e inconsistentes.

Tabla 2
Dependencia transversal

Variable	Test CD (2004)		Test CD (2015)	
	CD Statistic	p-value	CD Statistic	p-value
lnHE	39.46	0.000	39.45	0.000
lnVBA	211.25	0.000	211.24	0.000
lnVBI	222.72	0.000	222.73	0.000
lnVBS	258.08	0.000	258.08	0.000
lnPIB	147.01	0.000	147.01	0.000
lnPOB	125.48	0.000	125.48	0.000
lnCOM	47.84	0.000	47.84	0.000

La tabla 3 presenta los resultados de las pruebas de raíz unitaria de segunda generación donde se evalúa la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria (no estacionariedad) en los cuatro grupos de ingreso analizados. En el grupo HIC, bajo la especificación de constante y tendencia de Pesaran (2007), la huella ecológica, el valor agregado agrícola e industrial rechazan la hipótesis nula con niveles de significancia del 1 % y 10 %, respectivamente, mostrando comportamiento estacionario en niveles. Por su parte, en el grupo LIC, el valor agregado agrícola, el PIB per cápita y la apertura comercial presentan estacionariedad

al 5 %, 1 % y 10 %, respectivamente. Para el grupo LMI, variables como huella ecológica y valor agregado industrial logran rechazar la hipótesis nula al 10 % y 1 %, respectivamente. En el grupo UMI se observa un comportamiento similar en huella ecológica y valor agregado agrícola. Estos hallazgos revelan un patrón heterogéneo entre grupos de ingresos, variables y especificaciones. En este contexto, la prueba de cointegración de Westerlund se utiliza como contraste complementario para evaluar si existen relaciones estables a largo plazo.

Tabla 3
Prueba de raíz unitaria

Group	Variable	Pesaran (2003)				Pesaran (2007)			
		Constant		C. & Trend		Constant		C. & Trend	
		Z [t-bar]	p-value	Z [t-bar]	p-value	Z [t-bar]	p-value	Z [t-bar]	p-value
HIC	lnHE	4.291	1.000	1.887	0.970	-1.877	0.290	-2.874***	0.000
	lnVBA	1.269	0.898	0.139	0.555	-2.372***	0.004	-3.083***	0.000
	lnVBI	1.430	0.924	1.266	0.897	-2.007***	0.007	-2.638*	0.100
	lnVBS	2.199	0.986	3.799	1.000	-1.387	0.399	-1.952	0.299
	lnPIB	1.750	0.960	3.945	1.000	-1.942	0.184	-2.040	0.160
	lnPOB	3.956	1.000	5.446	1.000	-1.875	0.200	-1.380	0.300
	lnCOM	0.607	0.728	1.457	0.927	-1.461	0.282	-1.615	0.297
LIC	lnHE	1.322	0.907	3.771	1.000	-2.212***	0.000	-2.412	0.199
	lnVBA	-0.938	0.174	1.056	0.855	-2.332***	0.008	-2.589**	0.047
	lnVBI	2.796	0.997	5.173	1.000	-1.740	0.294	-1.861	0.150
	lnVBS	2.338	0.990	7.379	1.000	-1.418	0.186	-1.019	0.400
	lnPIB	1.030	0.849	1.814	0.965	-2.541***	0.009	-3.266***	0.000
	lnPOB	3.366	1.000	0.533	0.703	-1.589	0.124	-2.204	0.159
	lnCOM	-1.176	0.120	-0.184	0.427	-1.948	0.728	-2.633*	0.092
LMI	lnHE	0.109	0.543	2.121	0.983	-2.490***	0.001	-2.752*	0.097
	lnVBA	-1.173	0.120	2.041	0.979	-2.620***	0.009	-2.488	0.185
	lnVBI	-0.492	0.311	-2.599	0.005	-1.805	0.580	-3.407***	0.000
	lnVBS	1.384	0.917	2.768	0.997	-2.114	0.159	-2.229	0.137
	lnPIB	-1.504	0.066	-1.553	0.060	-2.122	0.164	-2.626	0.135

		Pesaran (2003)				Pesaran (2007)			
		Constant		C. & Trend		Constant		C. & Trend	
LMI	lnPOB	3.404	1.000	4.767	1.000	-1.063	0.800	-1.053	0.371
	lnCOM	1.468	0.929	2.715	0.997	-1.916	0.526	-1.989	0.227
UMI	lnHE	0.883	0.811	2.603	0.995	-2.192***	0.054	-2.841**	0.049
	lnVBA	1.864	0.969	-0.817	0.207	-2.172	0.120	-3.228***	0.000
	lnVBI	0.203	0.580	4.292	1.000	-1.634	0.290	-2.264	0.155
	lnVBS	3.076	0.999	5.178	1.000	-1.684	0.317	-1.872	0.189
	lnPIB	1.793	0.964	2.543	0.995	-2.068*	0.100	-1.889	0.169
	lnPOB	0.842	0.800	2.580	0.995	-2.514***	0.000	-2.214	0.145
	lnCOM	0.066	0.526	2.391	0.992	-1.972	0.192	-1.943	0.127

Nota. *, ** y *** denotan nivel de significancia del 10 %, 5 % y 1 %.

La tabla 4 presenta los resultados de la prueba de cointegración, los cuales evidencian la relación de equilibrio a largo plazo en los grupos de ingreso alto, medio alto y bajo, donde los estadísticos τ resultan significativos. No obstante, en los países del grupo de ingreso medio-bajo se identifica que no existe una relación

de largo plazo, validada por el estadístico τ . Las estadísticas τ y no alcanzaron significancia estadística en ninguno de los grupos. En conjunto, estos resultados justifican la estimación de regresión de cuantiles de panel y el análisis de robustez con GLS.

Tabla 4
Prueba de cointegración de Westerlund

Grupo	Estadístico	Valor	Valor Z	Valor P
HIC	Gt	-2.676	-2.741	0.003***
	Ga	-3.240	6.405	1.000
	Pt	-17.947	-6385	0.000***
	Pa	-3.574	3.456	1.000
LIC	Gt	-2.776	-3.155	0.001***
	Ga	-4.490	5.043	1.000
	Pt	-13.027	-2.373	0.009***
	Pa	-4.272	2.663	0.996
LMI	Gt	-2.402	-0.595	0.276
	Ga	-8.887	1.286	0.901
	Pt	-6.887	-0.489	0.312
	Pa	-5.180	1.153	0.876
UMI	Gt	-2.583	-1.895	0.029**
	Ga	-4.468	4.710	1.000
	Pt	-10.221	-0.405	0.343
	Pa	-5.943	1.179	0.881

Nota. *, ** y *** denotan nivel de significancia del 10%, 5% y 1%.

La tabla 5 muestra los resultados de la regresión cuantílica de panel. El valor agregado agrícola presenta coeficientes negativos y significativos en todos los percentiles reportados. Por el contrario, el valor agregado industrial exhibe un comportamiento heterogéneo a lo largo de la distribución; en el percentil 10 es negativo pero se vuelve positivo y creciente hasta el percentil 90. El valor agregado de servicios muestra coeficientes positivos y decrecientes a lo largo de los cuantiles, pero no significativos en el

percentil 90. El PIB per cápita cambia de signo entre cuantiles bajos y altos. La población mantiene los coeficientes positivos y significativos en toda la distribución, y la apertura comercial conserva coeficientes significativos pero decrecientes entre los cuantiles bajos y medios. En la estimación de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), todas las variables estructurales y de control resultan estadísticamente significativas con excepción de la apertura comercial, la cual no muestra significancia estadística.

Tabla 5

Estimación de regresión en percentiles

Variable	MCO	Percentil 10	Percentil 20	Percentil 50	Percentil 80	Percentil 90
lnVBA	-0.399***	-0.410***	-0.415***	-0.418***	-0.427***	-0.424***
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
lnVBI	0.218***	-0.105**	0.094**	0.370***	0.443***	0.439***
	(0.000)	(0.018)	(0.041)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
lnVBS	0.184***	0.490***	0.327***	0.087***	0.057***	0.034
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.322)
lnPIB	0.042***	0.093***	0.032	-0.015	-0.071***	0.001
	(0.003)	(0.000)	(0.164)	(0.121)	(0.000)	(0.942)
lnPOB	0.828***	1.029***	0.090***	0.827***	0.780***	0.783***
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
lnCOM	0.044	0.201***	0.139***	0.123***	0.021***	-0.026***
	(0.171)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Observaciones	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515

Nota. Los valores en paréntesis son p-valores. Los coeficientes con *, ** y *** denotan nivel de significancia del 10 %, 5 % y 1 %.

La tabla 6 presenta los resultados de la estimación mediante mínimos cuadrados generalizados (GLS), tanto a nivel global como desagregada por grupos de ingreso. En el modelo GLS global, el valor agregado agrícola tiene un coeficiente negativo y significativo, mientras que la industria y los servicios son positivos y significativos. En los grupos de ingreso, la agricultura conserva signo negativo en HIC y LIC, la industria tiene signos positivos y significativos en to-

dos los grupos de ingreso, los servicios muestran un comportamiento heterogéneo, siendo negativo en UMI y LMI y positivo en los grupos HIC y LIC. El PIB per cápita es positivo y significativo en los grupos HIC y LIC, negativo en UMI y pierde significancia en LMI. La población muestra signos positivos y significativos en la mayoría de estimaciones y la apertura comercial presenta efectos positivos a nivel global, UMI y LIC, pero impactos negativos en HIC.

Tabla 6
Estimación de GLS

	GLOBAL	HIC	UMI	LMI	LIC
lnVBA	-0.381*** (0.000)	-0.042*** (0.000)	0.005* (0.056)	0.274*** (0.000)	-0.195*** (0.000)
lnVBI	0.207*** (0.000)	0.042*** (0.000)	0.186*** (0.000)	0.283*** (0.000)	0.115*** (0.000)
lnVBS	0.180* (0.052)	0.026* (0.052)	-0.171*** (0.000)	-0.515*** (0.000)	0.074** (0.019)
lnPIB	0.037** (0.035)	0.029** (0.035)	-0.050*** (0.000)	0.010 (0.241)	0.059** (0.040)
lnPOB	0.818*** (0.000)	0.753*** (0.000)	0.931*** (0.000)	0.759** (0.022)	-0.918*** (0.000)
lnCOM	0.050*** (0.000)	-0.109*** (0.000)	0.150*** (0.000)	-0.109*** (0.010)	0.112*** (0.000)
constant	2.421*** (0.000)	4.928*** (0.000)	1.670*** (0.000)	3.498*** (0.000)	0.478*** (0.000)
N	1515	510	450	165	390

Nota. Los valores en paréntesis son p-valores. Los coeficientes con *, ** y *** denotan nivel de significancia del 10 %, 5 % y 1 %.

Discusión de resultados

En el apartado anterior se confirma la existencia de una relación de largo plazo entre la estructura sectorial y la huella ecológica en los grupos de ingreso alto, medio alto y bajo, mientras que en los países de ingreso medio bajo no existe significancia. Además, los resultados evidencian la pertinencia de modelar dicha relación mediante enfoques robustos de dependencia transversal y heterogeneidad no observable. De acuerdo con Liao et al. (2022) y Usman et al. (2022), este punto es importante porque la literatura reciente ha mostrado que ignorar la interdependencia entre países sesga la inferencia y oscurece la identificación de efectos distribucionales.

En la agricultura, la estimación global mediante GLS muestra un comportamiento heterogéneo: se observa un efecto negativo sobre la huella ecológica en los grupos HIC y LIC, pero positivo en los grupos UMI y LMI. Sin embargo, la estimación por cuantiles reporta coeficientes negativos a lo largo de toda la distribución, desde los percentiles bajos hasta los altos. Estos resultados se alinean con Usman et al. (2022) y Adekoya et al. (2022) quienes explican que el

efecto agrícola no es uniforme, puesto que en países emergentes la agricultura y producción alimentaria suelen incrementar la huella ecológica cuando predomina la intensificación, uso de insumos y expansión productiva.

En cuanto al sector industrial en la estimación GLS global y en todos los grupos de ingreso aporta un coeficiente positivo y significativo, pero en la regresión cuantílica presenta signo negativo en el percentil 10 y positivo a partir del percentil 20. Esto coincide con You y Lv (2018) y Torres-Díaz et al. (2025), quienes muestran que la industrialización intensifica el uso de energía, el transporte y las emisiones asociadas a la producción. En esta misma línea, Pea-Assounga et al. (2025), Sahoo et al. (2024) y Wang et al. (2021) mencionan que el efecto industrial se explica por la intensidad energética, el uso de combustibles fósiles y la presión sobre la biocapacidad. La persistencia del signo positivo en todos los grupos de ingreso sugiere que el sector industrial sigue siendo un canal central de aumento de la huella ecológica.

El sector servicios presenta un comportamiento heterogéneo. En la estimación GLS presenta signos negativos en los grupos UMI y

LMI, pero es positivo en HIC y LIC. En la regresión por cuantiles, sus coeficientes son positivos en toda la distribución, pero decrecen de forma marcada desde los cuantiles bajos hasta los altos y pierden significancia en el percentil 90. Esto indica que, en contextos de menor presión ecológica, la expansión de servicios todavía puede incrementar la huella ecológica, probablemente por mayor consumo, infraestructura urbana y demanda energética indirecta (Ehigiamusoe et al., 2025; Wang et al., 2021). Sin embargo, Sahoo et al. (2024), Ehigiamusoe et al. (2025) y Yaxin y Hassan (2025) mencionan que un punto clave es la terciarización ya que puede estar asociada con la sustitución parcial de actividades materiales intensivas para mitigar el impacto ambiental.

Los controles incorporados en el estudio refuerzan esta lectura estructural. El PIB per cápita cambia de signo entre cuantiles bajos y altos, la población mantiene coeficientes positivos a lo largo de la distribución y la apertura comercial conserva una señal positiva, aunque decreciente en la estimación cuantil. Algunos autores, como Kazemzadeh et al. (2022) y Wang et al. (2021), señalan que el crecimiento económico, la apertura comercial y las presiones demográficas no operan de manera lineal sobre la huella ecológica y pueden amplificar los efectos sectoriales según el grado de urbanización, especialización productiva e intensidad energética.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio evidencian que la relación entre la estructura sectorial y la huella ecológica es heterogénea, tanto a lo largo de la distribución de la presión ecológica como entre grupos de ingreso. Asimismo, muestran una relación de largo plazo en los grupos de ingreso alto, medio alto y bajo, mientras que, para los países de ingreso medio bajo, no se encuentra evidencia robusta de cointegración. La regresión por cuantiles con efectos fijos muestra que el valor agregado agrícola se asocia negativamente con la huella ecológica en toda la distribución, mientras que el sector industrial exhibe un comportamiento heterogéneo: negativo en el percentil inferior y positivo en los cuantiles in-

termedios y altos. El sector servicios presenta un efecto positivo y decreciente que pierde significancia estadística en el percentil más alto.

Por otra parte, los resultados del modelo GLS confirman la relevancia de los sectores económicos desde una perspectiva de efecto promedio, pero revelan diferencias importantes por grupo de ingreso. En la agricultura, se muestra un efecto negativo sobre la huella ecológica en los grupos HIC y LIC, pero cambia a positivo en los grupos LMI y UMI. El sector industrial aporta, en todos los grupos de ingreso, un coeficiente positivo y significativo. En el sector servicios se observa que el coeficiente tiene signo negativo en los grupos de ingreso UMI y LMI, pero positivo en HIC y LIC. Para las variables de control se observa que el PIB per cápita tiene un signo positivo en todos los grupos de ingreso, excepto UMI. La población presenta signos positivos en los grupos HIC, UMI y LMI, pero cambia a negativo en LIC. La variable de apertura comercial se presenta negativa en HIC y LMI, pero es positiva en UMI y LIC.

Esta investigación contribuye a la literatura al proporcionar evidencia de que la huella ecológica, al ser un indicador agregado y complejo, muestra dinámicas que los enfoques basados en CO₂ no logran capturar. Sin embargo, hay que reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, el estudio se basa en grandes agregados sectoriales, lo que no permite distinguir entre subsectores o cadenas de valor diferentes dentro de la agricultura, la industria y los servicios. En segundo lugar, el panel cubre una muestra amplia de países, pero la disponibilidad de datos obliga a trabajar con información agregada y homogénea, lo que puede ocultar diferencias institucionales, tecnológicas y regulatorias más específicas. En tercer lugar, el análisis se concentra en las relaciones econométricas de largo plazo y en la heterogeneidad distributiva, pero no identifica mecanismos microeconómicos directos ni efectos específicos de las políticas por país. Estas limitaciones no invalidan los hallazgos, pero sí restringen su alcance interpretativo y sugieren futuras investigaciones más desagregadas.

Desde el punto de vista conceptual, este trabajo aporta a la literatura sobre economía

ambiental al demostrar que la huella ecológica ofrece una aproximación más integral que las emisiones de carbono para estudiar la presión sobre los ecosistemas. Además, refuerza la idea de que la relación entre actividad económica y deterioro ambiental es heterogénea, no lineal y dependiente del nivel de desarrollo. Desde una perspectiva empírica, el estudio confirma la utilidad de la regresión de cuantiles de panel para capturar asimetrías que los modelos basados en promedios no revelan. En términos gerenciales y de política pública, los resultados sugieren que no deben aplicarse estrategias uniformes, sino políticas diferenciadas para la agricultura sostenible, la transición industrial limpia y el fortalecimiento de servicios verdes digitalizados, adaptadas al nivel de ingreso y a la posición ecológica de cada país.

Referencias

- Adekoya, O.B., Ajayi, G.E., Suhrab, M. y Oliyide, J.A. (2022). How critical are resource rents, agriculture, growth, and renewable energy to environmental degradation in resource-rich African countries? The role of institutional quality. *Energy Policy*, 164, 112888. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112888>
- Ahmad, A. U., Abubakar, A., Senan, N., Gwadabe, U. M., Mohammed, B., Muhammad, M., Al-Yazidi, A. M., Sani, B. Y., Jamiu, M. y Mustapha, U. A. (2024). Examining the Asymmetric Effects of Renewable Energy Use, Financial Development, and Trade Openness on Economic Growth in D-8 Islamic Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(4), 125-139. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.16077>
- Alvarado, R., Tillaguango, B., Dagar, V., Ahmad, M., Işık, C., Méndez, P. y Toledo, E. (2021). Ecological footprint, economic complexity and natural resource rents in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128585. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128585>
- Alper, A. E., Alper, F. O., Ozayturk, G. y Mike, F. (2023). Testing the long-run impact of economic growth, energy consumption, and globalization on ecological footprint: new evidence from Fourier bootstrap ARDL and Fourier bootstrap Toda-Yamamoto test results. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42873-42888. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18610-7>
- Azam, M., Nawaz, S., Rafiq, Z. e Iqbal, N. (2021). A spatial-temporal decomposition of carbon emission intensity: a sectoral level analysis in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21381- 21395. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12088-x>
- Banco Mundial. (2026). *Datos por país*. <https://datos.bancomundial.org/pais>
- Chowdhury, M. A. F., Shanto, P. A., Ahmed, A. y Rumana, R. H. (2021). Does foreign direct investment impair the ecological footprint? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 14372-14385. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11518-0>
- Chu, L. y Hoang, D. (2021). The shadow economy-environmental quality nexus in OECD countries: empirical evidence from panel quantile regression. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(43), 65233- 65258. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20410-y>
- Destek, M. A. y Sarkodie, S. A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the total environment*, 650, 2483-2489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017>
- Dogan, E.; Altinoz, B.; Madaleno, M.; Taskin, D. (2020). The impact of renewable energy consumption to economic growth: a replication and extension of Inglesi-Lotz (2016). *Energy Economics*, 90, 104866. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104866>
- Dinga, G. D. (2023). The ecological poverty trap: Addressing the role of structural change, economic growth, trade, capital formation and democracy. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100245>
- Ehigiamusoe, K., Lee, C. y Lean, H.-H. L. (2025). Analysis of the economic and environmental imperatives of the service sector: The role of government in promoting sustainable development. *Journal of environmental management*, 376, 124470. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124470>
- Fanning, A. L. y Raworth, K. (2025). Doughnut of social and planetary boundaries monitors a world out of balance. *Nature*, 646, 47 - 56. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09385-1>
- Global Footprint Network. (2026). *Open Data Platform*. <https://footprintnetwork.org/licenses/public-data-package-free/>
- Hoechle, D. (2007). Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence. *The Stata Journal*, 7(3), 281 - 312. <https://doi.org/10.1177/1536867x0700700301>

- Kazemzadeh, E., Fuinhas, J. A., Koengkan, M. y Osmani, F. (2022). The heterogeneous effect of economic complexity and export quality on the ecological footprint: a two-step club convergence and panel quantile regression approach. *Sustainability*, 14(18), 11153. <https://doi.org/10.3390/su141811153>
- Kazemian, S., Zaman, R., Iranmanesh, M. y Sanusi, Z. M. (2024). Assessing the carbon footprint of the agriculture, forestry, and fishing industry of Australia. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 16(5), 1243-1268. <https://doi.org/10.1108/sampj-08-2023-0610>
- Kongbuamai, N., Bui, Q. y Nimsai, S. (2021). The effects of renewable and nonrenewable energy consumption on the ecological footprint: the role of environmental policy in BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(22), 27885-27899. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12551-3>
- Kouton, J., Kakou, J. D. y Okoua, Y. M. (2024). Sectoral dynamics and environmental quality in Côte d'Ivoire: assessing the impact of structural transformation. *Cogent Economics & Finance*, 12(1), 2413659. <https://doi.org/10.1080/23322039.2024.2413659>
- Liao, J., Liu, X., Zhou, X. y Tursunova, N. (2022). Analyzing the role of renewable energy transition and industrialization on ecological sustainability: Can green innovation matter in OECD countries. *Renewable Energy*, 204, 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.089>
- Machado, J. A. y Silva, J. S. (2019). Quantiles via moments. *Journal of econometrics*, 213(1), 145-173. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.04.009>
- Masud, R. y Enam, J. B. (2023). Consideration of the impact of the transition from a cash crop economy on the carbon footprint. *Technology audit and production reserves*. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286236>
- Merz, J. J., Barnard, P., Rees, W., Smith, D., Maroni, M., Rhodes, C. J., Dederer, J. H., Bajaj, N., Joy, M. K., Wiedmann, T. y Sutherland, R. (2023). World scientists' warning: The behavioural crisis driving ecological overshoot. *Science Progress*, 106(3), 00368504231201372. <https://doi.org/10.1177/00368504231201372>
- Muoneke, O. B. Okere, K. I. y Nwaeze, C. N. (2022). Agriculture, globalization, and ecological footprint: the role of agriculture beyond the tipping point in the Philippines. *Environmental Science Pollution Research*, 29(36), 54652-54676. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19720-y>
- Pea-Assounga, J. B. B., Bambi, P. D. R. y Apendi, D. A. O. (2025). Impact of agriculture, industry, food production, renewable energy consumption, urbanization, and consumer price index on ecological footprint: evidence from Asian economies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1653025. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1653025>
- Pesaran, M. H. (2015). Testing weak cross-sectional dependence in large panels. *Econometric reviews*, 34(6-10), 1089-1117. <https://doi.org/10.1080/07474938.2014.956623>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H., Schuermann, T. y Weiner, S. M. (2004). Modeling regional interdependencies using a global error-correcting macroeconomic model. *Journal of Business & Economic Statistics*, 22(2), 129-162. <https://doi.org/10.1198/073500104000000019>
- Pesaran, M. H. (2003). Estimation and inference in large heterogeneous panels with cross section dependence. *Available at SSRN* 385123.
- Sahoo, M., Kaushik, S., Gupta, M., Islam, M. K. y Nayak, P. (2024). Powering a sustainable future: Does economic structure influence the ecological footprint?. *Sustainable Development*, 32(4), 3809-3823. <https://doi.org/10.1002/sd.2874>
- Torres-Díaz, V., del Río-Rama, M. D. L. C., Álvarez-García, J. y Simonetti, B. (2025). Environmental sustainability and tourism growth: convergence or compensation?. *Quality & Quantity*, 59(3), 2129-2152. <https://doi.org/10.1007/s11135-024-01906-w>
- Usman, A., Ozturk, I., Naqvi, S. M. M. A., Ullah, S. y Javed, M. I. (2022). Revealing the nexus between nuclear energy and ecological footprint in STIRPAT model of advanced economies: Fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Progress in Nuclear Energy*, 148, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104220>
- Wang, Q., Wang, X. y Li, R. (2021). Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103382. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103382>
- Westerlund, J. y Edgerton, D. L. (2007). New improved tests for cointegration with structural breaks. *Journal of time series Analysis*, 28(2), 188-224. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2006.00504.x>
- Wu, D., Wu, G. y Yang, H. (2022). Analysis of China's Embodied Ecological Footprint and Its Flows

- among Economic Sectors per Unit of Currency Production. *Land*, 12(1), 41.
<https://doi.org/10.3390/land12010041>
- Xu, Y., Li, C. y Wang, J. (2023). How does agricultural global value chain affect ecological footprint? The moderating role of environmental regulation. *Sustainable Development*, 31(4), 2416-2427.
<https://doi.org/10.1002/sd.2518>
- Yang, X.-R., Chen, J., Li, D. y Li, R. (2023). Functional-Coefficient Quantile Regression for Panel Data with Latent Group Structure. *Journal of business & economic statistics: a publication of the American Statistical Association*, 42(3), 1026 - 1040.
<https://doi.org/10.1080/07350015.2023.2277172>
- Yaxin, X. y Hassan, A. (2025). Aligning Growth, Finance, and Technology With Sustainable Development: Quantile Evidence on Carbon and Ecological Dynamics in G20 Economies. *Sustainable Development*, 34(3), 3654-3671.
<https://doi.org/10.1002/sd.70516>
- Yılancı, V., Çütcü, İ. y Araci, S. (2022). The causality relationship between trade and environment in G7 countries: evidence from dynamic symmetric and asymmetric bootstrap panel causality tests. *Mathematics*, 10(15), 2553.
<https://doi.org/10.3390/math10152553>
- You, W. y Lv, Z. (2018). Spillover effects of economic globalization on CO₂e missions: a spatial panel approach. *Energy Economics*, 73, 248-257.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.016>

Declaración de Autoría - Taxonomía CRediT

Autor/es	Contribuciones
Viviana Torres-Díaz	Conceptualización, análisis formal, obtención de fondos, investigación, metodología, supervisión, redacción. Borrador original, redacción. Revisión y edición.
María de la Cruz Del Río-Rama	Conceptualización, análisis formal, obtención de fondos, investigación, metodología, supervisión, redacción. Borrador original, redacción. Revisión y edición.
José Álvarez-García	Conceptualización, análisis formal, obtención de fondos, investigación, metodología, supervisión, redacción. Borrador original, redacción. Revisión y edición.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores **DECLARAN** que, en la elaboración del artículo titulado: “Impacto de los sectores económicos en la huella ecológica global: regresión cuantílica”: no se utilizó Inteligencia Artificial (IA) en ninguna etapa del proceso.