

Factores determinantes de la Huella Ecológica en el Perú, periodo 2011-2021

Determining factors of the Ecological Footprint in Perú, period 2011-2021

Factores determinantes da Pegada Ecológica no Perú, período 2011-2021

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.337>

Julio Cesar Quispe Mamani
jcquispe@unap.edu.pe

Lucas Ponce Quispe
lponce@unap.edu.pe

German Roberto Quispe Zapana
germanroberto5@gmail.com

Marcial Guevara Mamani
mguevara@unap.edu.pe

Manuel Timoteo Enriquez Tavera
menriqueztavera@gmail.com

Héctor Efraín Flores Ortega
hflores@unap.edu.pe

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La huella ecológica, también conocida como huella medioambiental, es una medida que permite evaluar el impacto generado por las actividades humanas sobre el planeta. Esta se traduce en la cantidad de superficie ecológicamente productiva necesaria para generar los recursos consumidos por cada persona, así como la cantidad de tierra requerida para absorber los residuos generados en los diversos procesos productivos. El objetivo de esta investigación fue identificar los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú entre 2011 y 2021. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y correlacional, utilizando el modelo de efectos fijos. Se empleó información disponible en el Instituto Nacional de Estadística e Informática, el Ministerio del Ambiente y el Banco Central de Reserva del Perú. Los resultados obtenidos muestran que, en las ciudades más pobladas, como Lima, Arequipa y Trujillo, la variable que más impacta en la huella ecológica es la generación de residuos sólidos. Un incremento del 1% en esta variable incrementa la huella en un 7,8%. Le sigue el crecimiento del parque automotor, que también contribuye en un 7,8%, y, finalmente, el consumo de energía eléctrica. Para reducir la huella ecológica, es crucial implementar políticas de concienciación ambiental a nivel nacional y adoptar un modelo económico sostenible a largo plazo. En conclusión, se puede afirmar que las variables Parque automotor, consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos fueron los principales determinantes de la huella ecológica en el Perú durante el periodo 2011-2021.

Palabras clave: Contaminación ambiental; Desarrollo sostenible; Ecología; Huella ecológica; Medio ambiente

ABSTRACT

The ecological footprint, also known as the environmental footprint, is a measure that allows us to evaluate the impact generated by human activities on the planet. This translates into the amount of ecologically productive surface necessary to generate the resources consumed by each person, as well as the amount of land required to absorb the waste generated in the various production processes. The objective of this research was to identify the determining factors of the ecological footprint in Perú between 2011 and 2021. To do so, a quantitative approach was adopted, with a non-experimental descriptive and correlational design, using the fixed effects model. Information available at the National Institute of Statistics and Informatics, the Ministry of the Environment and the Central Reserve Bank of Perú was used. The results obtained show that, in the most populated cities, such as Lima, Arequipa and Trujillo, the variable that most impacts the ecological footprint is the generation of solid waste. A 1% increase in this variable increases the footprint by 7.8%. This is followed by the growth of the vehicle fleet, which also contributes 7.8%, and finally, the consumption of electric energy. To reduce the ecological footprint, it is crucial to implement environmental awareness policies at the national level and adopt a sustainable economic model in the long term. In conclusion, it can be stated that the variables Vehicle fleet, electric energy consumption and generation of solid waste were the main determinants of the ecological footprint in Perú during the period 2011-2021.

Key words: Ecology; Ecological footprint; Environment; Environmental pollution; Sustainable development

RESUMO

A pegada ecológica, também conhecida como pegada ambiental, é uma medida que permite avaliar o impacto gerado pelas atividades humanas no planeta. Isso se traduz na quantidade de superfície ecologicamente produtiva necessária para gerar os recursos consumidos por cada pessoa, bem como na quantidade de terra necessária para absorver os resíduos gerados nos diversos processos de produção. O objetivo desta pesquisa foi identificar os fatores determinantes da pegada ecológica no Perú entre 2011 e 2021. Para tanto, adotou-se uma abordagem quantitativa, com delineamento descriptivo e correlacional não experimental, utilizando o modelo de efeitos fixos. Foram utilizadas informações disponíveis no Instituto Nacional de Estatística e Informática, no Ministério do Meio Ambiente e no Banco Central de Reserva do Perú. Os resultados obtidos mostram que, nas cidades mais populosas, como Lima, Arequipa e Trujillo, a variável que mais impacta na pegada ecológica é a geração de resíduos sólidos. Um aumento de 1% nessa variável aumenta a pegada em 7,8%. Em seguida, vem o crescimento da frota de veículos, que também contribui com 7,8%, e, por fim, o consumo de energia elétrica. Para reduzir a pegada ecológica, é fundamental implementar políticas de conscientização ambiental em nível nacional e adotar um modelo econômico sustentável de longo prazo. Concluindo, pode-se afirmar que as variáveis frota de veículos, consumo de energia elétrica e geração de resíduos sólidos foram os principais determinantes da pegada ecológica no Perú durante o período 2011-2021..

Palavras-chave: Ambiente; Desenvolvimento sustentável; Ecologia; Pegada ecológica; Poluição ambiental

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico de los países en el mundo, llevado a cabo sin considerar las restricciones ambientales, ha provocado la sobreexplotación de los recursos naturales y la creciente contaminación del medio ambiente. Como resultado de estas prácticas, se han generado numerosos impactos negativos, entre los que se destacan la contaminación atmosférica, la contaminación del suelo y del agua, así como el desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos. Además, se ha producido una fragmentación de los ecosistemas, una reducción significativa de la flora y fauna, y una disminución alarmante de la biodiversidad. Estas actividades económicas, junto con sus consecuencias, están llevando al planeta a un punto crítico, superando los límites planetarios establecidos para el funcionamiento seguro de los sistemas naturales (1-11).

Por lo que, la huella ecológica, como indicador clave del desarrollo sostenible, es una medida biofísica que refleja el impacto total que una colectividad determinada (país, región o ciudad) ejerce sobre su entorno. Este indicador toma en cuenta tanto los recursos naturales necesarios como los residuos generados para mantener el modelo de producción y consumo de dicha colectividad (12-15). Un componente esencial de la huella ecológica es la "tierra para capturar carbono", que refleja la superficie de terreno forestal necesaria para absorber las emisiones

de dióxido de carbono (CO₂) generadas por esa colectividad (2, 16-18). Para evaluar si la demanda humana de recursos renovables y la capacidad de absorción de CO₂ pueden ser sostenibles, la huella ecológica se compara con la biocapacidad del planeta, que representa la capacidad regenerativa de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos. Ambas se expresan en hectáreas globales (hag), una unidad de medida estandarizada que permite comparar la productividad de los suelos entre países, ya que los suelos tienen diferentes niveles de bio-productividad. Un hag corresponde a la capacidad productiva de una hectárea de tierra con una productividad media mundial (18-25).

Por lo tanto, a nivel mundial, resulta preocupante la creciente brecha entre la huella ecológica per cápita y la biocapacidad per cápita desde el año 1970. Esta discrepancia ha llevado a que, año tras año, la huella ecológica supere considerablemente la biocapacidad, generando un déficit ecológico. Este desequilibrio representa un problema complejo que afecta tanto a los factores ambientales como económicos a escala global. Es crucial tomar conciencia sobre la gravedad de la situación, ya que esta creciente sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación ambiental comprometen la sostenibilidad del planeta (26-30).

Por esta razón, en las últimas décadas, el desarrollo económico y comercial del Perú ha experimentado un notable impulso, generando

tanto impactos positivos como negativos. Sin embargo, en este proceso, se ha dejado de lado la consideración de los aspectos ambientales, sociales y culturales. La huella ecológica, un indicador único de sostenibilidad desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, mide los impactos que una población ejerce sobre el entorno, expresados en hectáreas de ecosistemas o naturaleza. Este indicador permite evaluar las demandas de la humanidad sobre la biosfera en relación con la capacidad regenerativa del planeta (4, 22, 31-34).

De este modo, uno de los indicadores que impacta directamente la huella ecológica en el país es el Producto Interno Bruto (PIB) y su distribución entre las diferentes regiones. A medida que los ingresos de la población aumentan, también se incrementa la huella ecológica, ya que un mayor poder adquisitivo conlleva un aumento en el consumo de recursos y en la generación de residuos. Otro indicador clave es la generación per cápita de residuos sólidos en el sector urbano, un problema recurrente en los últimos años. Este fenómeno está estrechamente relacionado con la centralización de la población en la región de Lima, especialmente en Lima Metropolitana, donde reside aproximadamente un tercio de la población del país. En otras palabras, de cada tres peruanos, uno vive en la capital. Esta concentración poblacional genera un impacto significativo en la contaminación ambiental de la región, agravando los problemas ecológicos y de sostenibilidad en el

área metropolitana. Por lo tanto, es fundamental abordar estos desafíos para mitigar su efecto negativo sobre el medio ambiente y promover un desarrollo sostenible en el país (25, 35, 36).

Así, el sector eléctrico peruano ha crecido a un ritmo superior al del PIB, impulsado por la inversión, la disponibilidad de energía y el desarrollo de energías renovables. Este último fue especialmente promovido entre 2008 y 2009 por la Autoridad Supervisora de la Inversión en Energía y Minas. Según un informe del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico en el 2011, este sector es fundamental para el crecimiento económico, ya que el suministro de energía es esencial para la producción de bienes y servicios. Además, el sector eléctrico no solo es crucial para diversas actividades económicas, sino que también contribuye a mejorar la calidad de vida de la población, al estar estrechamente vinculado con el acceso a servicios energéticos, lo que a su vez ayuda en la reducción de la pobreza (25, 36).

De ahí que, el sector eléctrico es crucial en muchos países; sin embargo, a nivel mundial, constituye la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), representando un 15% del total global. Este sector es particularmente vulnerable al cambio climático y a los costos ambientales asociados, como la contaminación del agua y las emisiones de GEI. Entre estas emisiones, el carbono es uno de los principales, ya que, además de liberarse a la atmósfera, también

está relacionado con la capacidad de los bosques para almacenar carbono, lo que agrava aún más el impacto ambiental de este sector. Mientras que, Otro de los indicadores clave de la huella ecológica en términos de contaminación es el uso de vehículos a combustión. Uno de los principales contaminantes del aire es la emisión de gases derivados de la quema de combustibles fósiles, especialmente de los vehículos de la industria automotriz. En el caso del Perú, la cantidad de vehículos por cada mil habitantes ha ido aumentando de manera constante en los últimos años, lo que conlleva a un incremento progresivo de la contaminación atmosférica generada por estos vehículos (25, 36).

Por lo tanto, los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú son diversos y están interrelacionados con el crecimiento económico, el consumo de recursos naturales, la generación de residuos, la expansión urbana, la deforestación y el uso de la tierra, entre otros. Los indicadores claves para monitorear y gestionar estos factores incluyen el PIB, las emisiones de GEI, el consumo de agua, la generación de residuos, la tasa de deforestación y la biodiversidad. Lo que se traduce en que, la huella ecológica en el Perú refleja un modelo de desarrollo que, aunque ha favorecido el crecimiento económico, ha tenido un impacto ambiental significativo, especialmente en términos de consumo de recursos no renovables y la destrucción de ecosistemas. Para avanzar hacia un

desarrollo más sostenible, es esencial mejorar la eficiencia en el uso de recursos, promover energías renovables, reducir la deforestación y fortalecer la gestión de residuos.

Por lo cual, el objetivo de la investigación fue establecer los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú, entre los periodos 2011-2021. Además, la hipótesis de la investigación es que, los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú, entre los periodos 2011-2021 están el consumo de energía eléctrica, la existencia del parque automotor, la generación de residuos sólidos y el Producto Interno Bruto per cápita.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se caracteriza por un enfoque cuantitativo, aplicado, descriptivo y correlacional. Es considerada aplicada porque aborda un problema de investigación previamente establecido y no experimental, dado que no se manipulan las variables independientes, sino que se observan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. El análisis de los datos se lleva a cabo de manera transversal y longitudinal de forma simultánea, utilizando un diseño de datos de panel completo, y recolectando información a nivel departamental durante el período 2011-2021. El diseño es descriptivo, ya que tiene como objetivo identificar y detallar el problema de investigación, describiendo las condiciones o situaciones asociadas al mismo. Por último, el

estudio es correlacional, ya que busca analizar la relación entre las variables de estudio y determinar su grado y magnitud (37,38). En el estudio, la población está constituida por todos los habitantes de los 24 departamentos del Perú durante el período comprendido entre 2011 y 2021. Esta población incluyó la selección de 100 personas por cada departamento.

Para el estudio se utilizaron fuentes de carácter secundario, como técnica se utilizó la encuesta. El instrumento empleado fue el cuestionario, para la llevar la información a la Base de Datos. Se utilizaron las series estadísticas anuales a nivel departamental. Se realiza el levantamiento de información de las principales instituciones públicas entendidas en el tema, referente a huella ecológica, el valor agregado bruto, cantidad de vehículos por cada mil personas, producción de electricidad per cápita por fuentes no renovables y el desarrollo financiero; estas son:

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (Encuestas Dirección de Cuentas Nacionales, ENAHO).

- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) del Ministerio de Ambiente.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Para el procesamiento de la información se utilizó el Software Stata, para la estimación de los modelos econométricos.

El modelo de Datos de Panel permitirá lograr los objetivos propuestos y contrastar las hipótesis planteadas en la presente investigación. Este modelo es apropiado para analizar cómo el crecimiento económico, el aumento del parque automotor, el consumo de energía y la generación de residuos sólidos determinan la huella ecológica. Esto se debe a que las variables pueden diferenciarse como individuos (por regiones) y por temporalidad, de acuerdo con las series disponibles que abarcan desde 2011 hasta 2021. Los diferentes detalles de las variables en estudio se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de las variables de la investigación.

Variables	Concepto	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Variable dependiente					
Huella Ecológica (Capital Natural)	Permite conocer el grado de impacto de la sociedad sobre el ambiente	Sostenible-Ambiental	Huella Ecológica Departamental per cápita	H e c t á r e a s Globales (Hag)	MINAM - Ministerio del Ambiente
Variables independientes					
Crecimiento Económico	Es el promedio de Producto Bruto Interno por cada persona de una determinada economía	Económica	Producto Bruto Interno per cápita (precios constantes 2011-2021)	Miles de soles	INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática
Parque Automotor	Indica el número de automóviles que circulan por un determinado país	Ambiental	Vehículos por cada mil habitantes	U n i d a d e s por cada mil habitantes	MINAM - Ministerio del Ambiente
Consumo de Energía eléctrica	Es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado	Ambiental	Producción de electricidad per-cápita por departamento	gigavatio-hora (GWh)	Banco Central de Reserva del Perú - Data
Residuos Sólidos	Permite conocer la cantidad de residuos sólidos generados por habitante al día	Ambiental	G e n e r a c i ó n per cápita de residuos sólidos domiciliarios urbanos	Kilogramos por habitante por día(kg/hab-día)	Ministerio del Ambiente - MINAM

Se recopilan datos de fuentes secundarias, como el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), que proporcionan información sobre el consumo de recursos, generación de residuos y otros indicadores relevantes para calcular la huella ecológica en los 24 departamentos del Perú.

En primer lugar, se realiza un análisis descriptivo para identificar las características básicas de los datos recolectados. Esto incluye la presentación de estadísticas resumidas que permiten entender

la distribución y tendencias de las variables involucradas. Además, se aplica un modelo de datos de panel que permite observar las variaciones tanto a nivel regional como temporal. Este enfoque es adecuado para estudiar cómo factores como el crecimiento económico, aumento del parque automotor, consumo de energía y generación de residuos sólidos afectan la huella ecológica.

El modelo econométrico estuvo representado de la siguiente forma:

$$HE_{it} = \beta_0 + \beta_1 VH_{it} + \beta_2 RS_{it} + \beta_3 CE_{it} + \beta_4 PBI_{it} + \mu_{it}$$

Donde:

- HE_{it} : Huella ecológica per-cápita (Hag)
 PBI_{it} : Producto Bruto Interno por departamentos
(miles de soles)
 VH_{it} : Los vehículos por cada mil habitantes
 RS_{it} : Generación per cápita de residuos sólidos
domiciliarios urbanos (kg/hab-día)
 CE_{it} : Consumo de electricidad per-cápita por
departamento (gwh)
 i : individuos (24 Regiones del Perú)
 t : tiempo (2011 – 2021)
 μ_{it} : error estándar
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Parámetros para cada uno de las
variables.

Mientras que, se llevaron a cabo análisis correlacionales para determinar la relación entre las variables estudiadas. Esto ayuda a identificar patrones y a evaluar el grado y la magnitud de la influencia que cada variable tiene sobre la huella ecológica. Así, el procesamiento y análisis

de los datos se realiza utilizando software estadístico como SPSS y Excel. Estas herramientas permiten generar cuadros, gráficos y modelos estadísticos que facilitan la interpretación de los resultados. Finalmente, los resultados obtenidos se comparan con estimaciones previas, como las proporcionadas por la Global Footprint Network, para validar las conclusiones del estudio. Esto asegura que los hallazgos sean consistentes con estudios internacionales y permite realizar recomendaciones basadas en evidencia sólida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se presenta el indicador de la huella ecológica (HE) aplicado al Perú por regiones, correspondiente al periodo 2011-2021. Se observa una tendencia creciente en la HE, siendo Lima el departamento con el mayor impacto ambiental durante todo el periodo de estudio, lo que genera un problema significativo de contaminación, afectando tanto la salud de la población como la capacidad regenerativa del país.

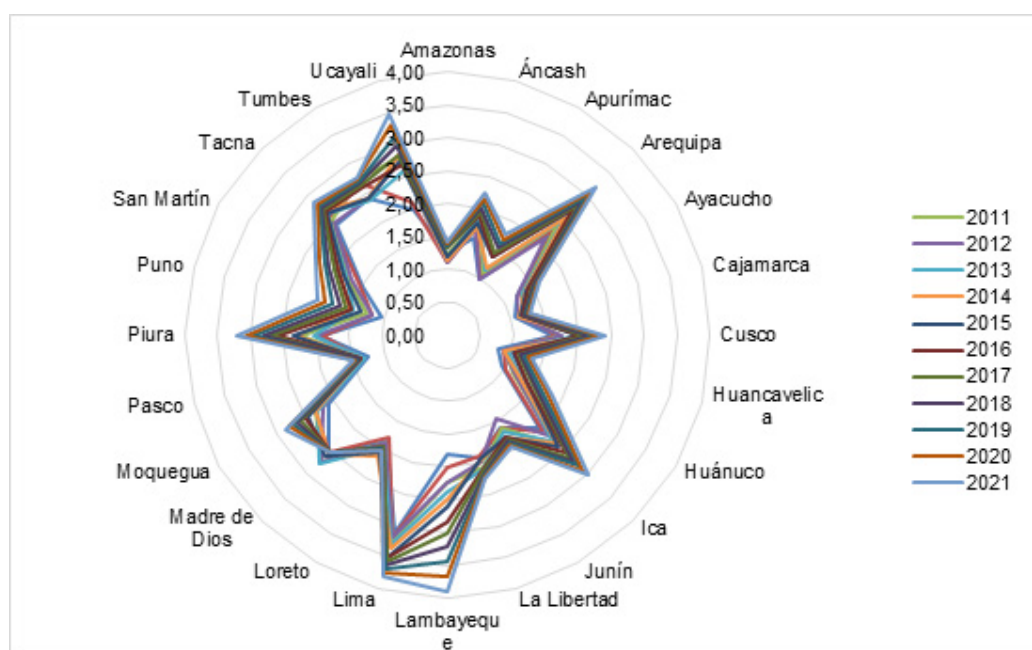


Figura 1. Huella ecológica del Perú por Regiones para el periodo 2011-2021.

En 2011, la región de Lima reportó una HE de 3.12, seguida por Madre de Dios (2.57), Tumbes (2.41) y Tacna (2.39), todas por encima del promedio nacional, que fue de 2.12. En 2015, la HE de Lima aumentó a 3.49, mientras que otras regiones como Ucayali (2.75), Arequipa (2.74) y Madre de Dios (2.62) también superaron el promedio nacional de 2.46. Para 2021, la HE de Lima alcanzó 3.81, mientras que Ucayali (3.48), Arequipa (3.20), Madre de Dios (2.52) y Lambayeque (3.90) también estuvieron por encima del promedio nacional de 2.86 Figura 1.

En términos generales, la HE en Perú mostró una tendencia creciente durante el periodo analizado. En 2011, la media nacional fue de 2.12, y para 2021 se incrementó a 2.86. Este aumento se mantuvo incluso durante la pandemia de COVID-19, lo que sugiere que, a pesar de las restricciones, las actividades económicas en el país al igual que en otras economías continúan dependiendo en gran medida de las variables macroeconómicas, el uso de recursos naturales y la capacidad productiva del país Figura 2.

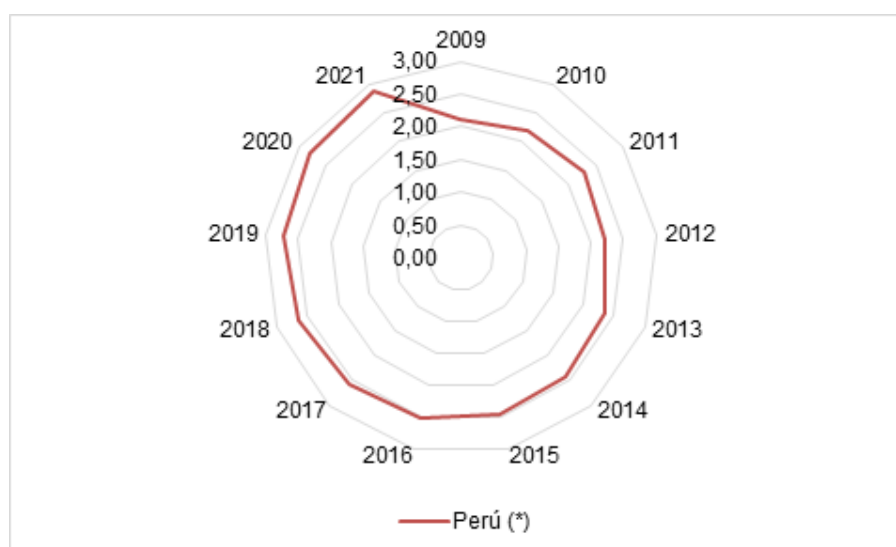


Figura 2. Huella ecológica del Perú para el periodo 2011-2021.

En este sentido, la huella ecológica está directamente relacionada con el crecimiento económico. Así lo evidencia la Figura 3, que muestra el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) por regiones, donde Lima presenta el mayor PIB, seguida por Arequipa. Este alto nivel de producción económica influye de manera significativa en la huella ecológica de la región. En

contraste, otras regiones, con menor PIB, muestran una huella ecológica proporcionalmente más baja, lo que está relacionado con su menor actividad económica y población. Esta diferencia se debe a que Lima es la ciudad más centralizada del país, lo que genera una mayor dinamización económica (Figura 3).

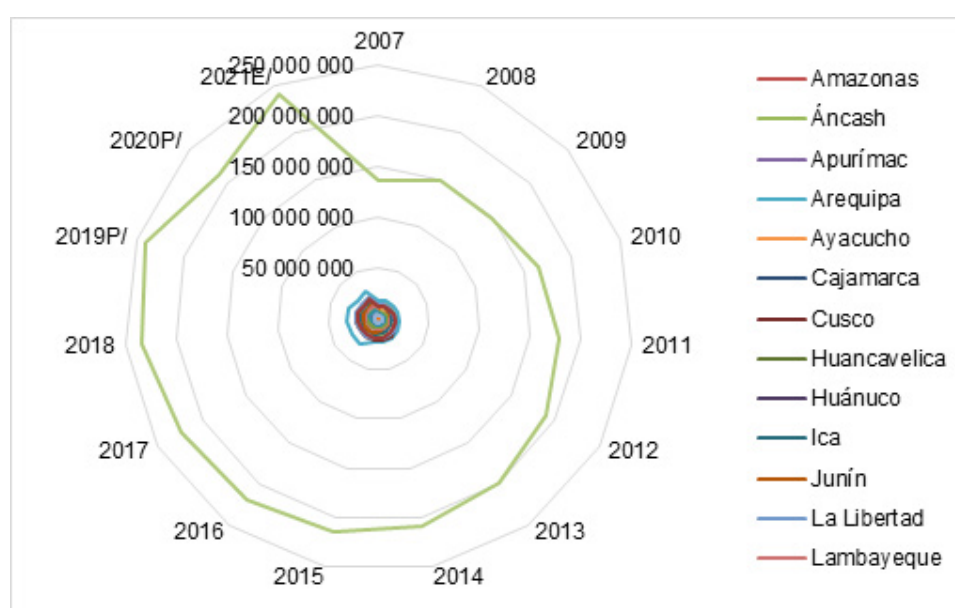


Figura 3. PIB del Perú por regiones, para el periodo 2011-2021.

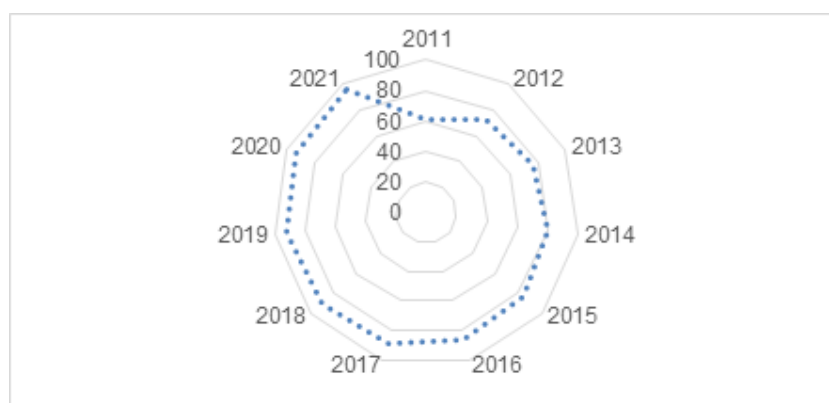


Figura 4. Existencia de vehículos por cada mil habitantes en el Perú.

Además, el desarrollo de las actividades económicas contribuye significativamente a la contaminación ambiental, siendo uno de los principales contaminantes del aire la quema de combustibles fósiles provenientes de los vehículos y la industria automotriz. En el caso del Perú, la cantidad de vehículos por cada mil habitantes ha ido aumentando año tras año, lo que implica un incremento continuo en la contaminación generada por estos. En el país, el número de vehículos por habitante ha crecido de manera considerable, impulsado por diversos factores, siendo uno de los principales la creciente

demanda de automóviles debido a la necesidad de un desplazamiento más rápido y conveniente. Esta tendencia queda reflejada en la Figura 4, que muestra el aumento constante en el parque automotor.

Esta tendencia se complementa con la Figura 5, en la que se observa que el parque automotor en el Perú sigue una curva exponencial, lo que conlleva una mayor demanda de combustible. A pesar de este aumento, aún se encuentra en proceso la implementación de combustibles alternativos o menos contaminantes.

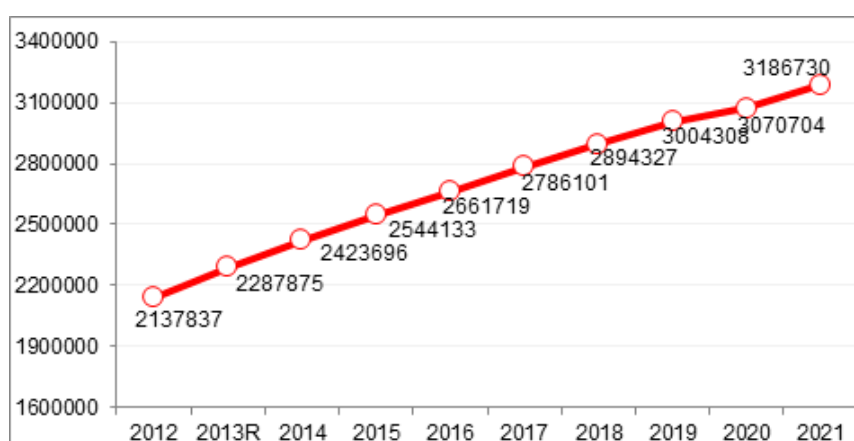


Figura 5. Evolución del Parque Automotor Nacional Estimado por Años: 2011-2021.

Lo anteriormente mencionado evidencia la relación directa entre la huella ecológica y sus determinantes, que en este caso incluyen el crecimiento económico de Perú, el consumo de energía, la expansión del parque automotor y el volumen de generación de residuos sólidos. Estos factores contribuyen de manera significativa a la tendencia creciente de la huella ecológica en los últimos años, lo que respalda las teorías existentes que sostienen que, para garantizar el crecimiento y desarrollo económico, se incurre en el sacrificio del medio ambiente, generando mayores impactos negativos sobre la naturaleza Figura 6.

El diagrama de dispersión mostrado en la Figura 6 revela que las variables Producto Interno

Bruto (PIB) per cápita, parque automotor, consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos presentan una clara tendencia de relación directa y positiva con la variable huella ecológica. Esta tendencia es confirmada por la matriz de correlación entre dichas variables, que se muestra en la Tabla 2. Según los valores de correlación de Pearson, la relación entre el consumo de energía eléctrica y la huella ecológica es débil, con un valor de p de 0.2885. En cambio, la relación entre la huella ecológica y las variables parque automotor, generación de residuos sólidos y PIB per cápita es de una correlación media, con valores de p de 0.5966, 0.4869 y 0.4973 respectivamente, lo que indica una relación directa entre estas variables.

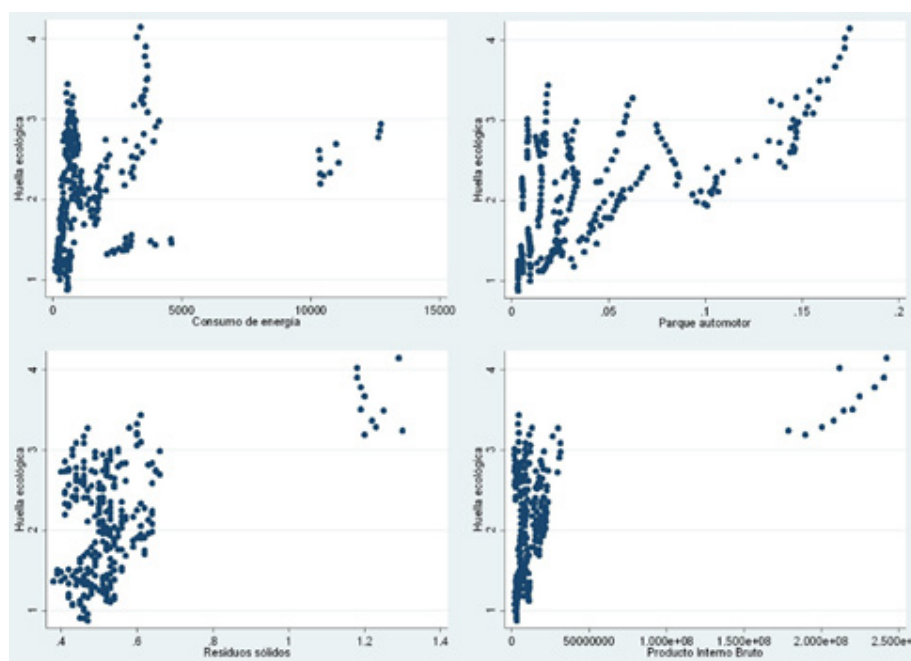


Figura 6. Relación entre la huella ecológica y sus determinantes

Tabla 2. Matriz de correlación de la huella ecológica y sus determinantes

Variables	Huella ecológica	Consumo de energía	Parque automotor	Residuos sólidos	Producto Interno Bruto
Huella ecológica	1.0000				
Consumo de energía eléctrica	0.2885	1.0000			
Parque automotor	0.5966	0.3655	1.0000		
Residuos sólidos	0.4869	0.0488	0.3998	1.0000	
Producto Interno Bruto per cápita	0.4973	0.2010	0.5957	0.9126	1.0000

Como parte del análisis complementario, después de aplicar el modelo econométrico propuesto, los resultados obtenidos de las pruebas de Breusch-Pagan para efectos aleatorios y la prueba F para efectos fijos indican que tanto el modelo de efectos aleatorios como el de efectos fijos superan al modelo agrupado en términos de

ajuste. Para determinar si utilizar un modelo de efectos fijos o aleatorios, se realizó una prueba de Hausman, y los resultados sugieren que, dado que existen diferencias sistemáticas en los coeficientes estimados, se debe usar el modelo de efectos fijos Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las estimaciones por paneles corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad a través de errores estándar.

Variable	Coefficiente	Std. Error	Z-Statistic	Prob.	[95% Conf. Interval]	
Producto Interno Bruto per cápita	2.91E-10	1.39E-09	2.02	0.084	-2.43E-09	3.01E-09
Parque automotor	7.844869	1.064782	7.37	0.000	5.757935	9.931803
Consumo de energía eléctrica	0.0000271	0.0000134	2.21	0.044	7.80E-07	0.0000534
Residuos sólidos	0.7859019	0.300788	2.61	0.009	0.1963683	1.375436
Constante	1.316481	0.1618053	8.14	0.000	0.9993482	1.633613
Estadísticos Ponderados						
R-squared	0.6615					
Wald chi2(4)	182.31					
Prob > chi2	0					
Min	11					
Avg	11					
Max	11					
Number of obs	264					
Number of groups	24					

Es importante señalar que los resultados presentados anteriormente corresponden al modelo más eficiente. Esto se debe a que, previamente, se había estimado otro modelo económico con efectos fijos, en el cual las variables significativas que explicaban el comportamiento de la huella ecológica fueron el parque automotor per cápita, el consumo de energía eléctrica y los residuos sólidos. En cambio, la variable Producto Interno Bruto per cápita resultó no significativa. Además, el modelo inicial presentaba problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación, que fueron corregidos mediante el uso del estimador de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (FGLS) o estimadores de paneles corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad a través de errores estándar (PCSE). Por lo que, Beck et al. (39), demostraron que los errores estándar PCSE son más precisos que los FGLS.

Huella ecológica_{it}

$$= 0.00029 \text{ PIB per cápita}_{it} 1.316 + 7.84 \text{ Parque automotor}_{it} \\ + 0.0000271 \text{ Consumo de energía eléctrica}_{it} + 0.7859 \text{ Residuos Sólidos}_{it} \\ + \mu_{it}$$

Por lo tanto, si el parque automotor aumenta en 1 vehículo por cada mil habitantes, la huella ecológica se incrementará en 7.84 hectáreas globales (hag). De igual manera, si el consumo de energía eléctrica aumenta en 1 GWh, la huella ecológica crecerá en 0.002 hectáreas globales (hag). Si la generación de residuos sólidos aumenta

En este modelo, el coeficiente de determinación R^2 es de 66 %, lo que indica que las variables consideradas en el estudio como el Producto Interno Bruto per cápita, el parque automotor, el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos sólidos explican en un 66% los cambios en la variable dependiente, la huella ecológica. Este resultado sugiere que las variables independientes están positivamente relacionadas con la variable dependiente; es decir, un aumento en estas variables se traduce en una mayor huella ecológica.

Con base en estos resultados, podemos afirmar que el modelo de efectos fijos es pertinente y que las variables elegidas tienen una estrecha relación para explicar el comportamiento de la huella ecológica. A continuación, se presenta el modelo econométrico final:

en 1 kg por habitante por día, la huella ecológica aumentará en 0.78 hectáreas globales (hag). Finalmente, si el Producto Interno Bruto per cápita crece en 1 dólar por habitante, la huella ecológica se incrementará en 0.00029 hectáreas globales (hag).

Discusión

En el análisis de los resultados obtenidos, es crucial reconocer que el modelo más eficiente ha sido seleccionado tras una evaluación detallada de la especificación y la corrección de los problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación que afectaron al modelo inicial. Este procedimiento es consistente con las recomendaciones de Beck y Katz (40), quienes argumentaron que el uso de errores estándar corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad proporciona estimaciones más robustas y precisas que otros métodos como los estimadores de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles. Los autores subrayan que los PCSE permiten manejar adecuadamente la heteroscedasticidad y la autocorrelación en datos de panel, lo cual mejora la precisión de las inferencias obtenidas. De acuerdo con Beck y Katz (40), los errores estándar ajustados por PCSE superan las limitaciones del FGLS, especialmente cuando los supuestos sobre la estructura de la varianza no se cumplen en los datos empíricos.

Por lo que, en cuanto al modelo final, los resultados obtenidos (R^2 de 66 %) sugieren que las variables seleccionadas explican una proporción considerable de la variabilidad de la huella ecológica, lo cual indica la relevancia de estas variables en la determinación del comportamiento de la huella ecológica. Este hallazgo coincide con

la literatura que ha documentado una relación positiva entre el desarrollo económico, la expansión del parque automotor, el consumo de energía y la generación de residuos, y el impacto ambiental. Varios estudios, como los de Palmero et al. (20), destacan cómo el crecimiento económico, medido a través del Producto Interno Bruto per cápita, está relacionado con una mayor huella ecológica, aunque con una sensibilidad más baja en comparación con otras variables como el consumo de energía o la movilidad. Sin embargo, en el modelo analizado, el PIB per cápita no resultó significativo, lo que podría indicar que, en el contexto específico de este estudio, otras variables tienen un impacto más directo sobre la huella ecológica.

De este modo, cuanto a las variables significativas, el parque automotor per cápita muestra una relación considerablemente fuerte con la huella ecológica, lo cual se alinea con investigaciones previas que han demostrado que el aumento en la cantidad de vehículos por habitante contribuye directamente a un mayor uso de recursos y mayores emisiones de CO_2 (41). Del mismo modo, el consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos también fueron identificadas como variables determinantes. Investigaciones previas desarrolladas por Le Quéré et al. (41) confirman que tanto el consumo

energético como la producción de residuos están estrechamente ligados con la huella ecológica de un país.

Finalmente, los resultados sugieren que un incremento en el PIB per cápita, aunque no significativo en el modelo, puede seguir desempeñando un papel en la expansión de la huella ecológica, aunque en menor medida que el parque automotor, el consumo de energía y los residuos sólidos. Este fenómeno ha sido explorado por autores como Dietz y Rosa (42), quienes explican que el crecimiento económico, aunque genera mayor demanda de bienes y servicios, no siempre se traduce directamente en un aumento proporcional en la huella ecológica debido a la mejora de la eficiencia en algunos sectores.

En resumen, el modelo final proporciona evidencia sólida de que las variables como el parque automotor, el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos sólidos son determinantes clave en la explicación de la huella ecológica, mientras que el Producto Interno Bruto per cápita, aunque relevante, no muestra un efecto tan directo en el contexto de este análisis específico. Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar un enfoque multifacético al evaluar los factores que impulsan el impacto ambiental a nivel nacional.

CONCLUSIONES

El incremento en los ingresos de la población ha llevado a un aumento en el consumo, lo que a su vez ha elevado la generación de residuos y, por lo tanto, la contaminación. Fenómeno considerada consecuencia directa del mayor poder adquisitivo, que impulsa un mayor consumo y, en consecuencia, mayores emisiones y generación de desechos.

Por otro lado, el parque automotor tiene un impacto negativo sobre la huella ecológica, principalmente debido al elevado número de vehículos en las ciudades. Este impacto se ve exacerbado por la falta de una cultura y conciencia ambiental adecuada en la población. Entre los factores que contribuyen a esta situación se encuentran: una deficiente conciencia ambiental y una baja tasa de reciclaje de residuos sólidos, y la falta de disposición de los usuarios para reducir las emisiones y la creación de residuos. En este contexto, la Universidad Nacional podría desempeñar un papel fundamental, promoviendo la concienciación ambiental entre la comunidad y gestionando, junto con las autoridades correspondientes, la instalación de plantas de reciclaje de residuos sólidos.

En cuanto al consumo de energía eléctrica, este también tiene un impacto positivo o directo sobre la huella ecológica. Cada aumento porcentual en el consumo de energía eleva la huella ecológica en un 0.002% de hectáreas por persona en promedio. Esto se debe a que, aunque existe una proporción de energía generada a partir de fuentes renovables, la producción de energía térmica a partir de fuentes no renovables sigue representando una parte significativa del total. Esto implica que la huella ecológica sigue viéndose afectada negativamente por las fuentes de energía contaminantes, lo que podría tener repercusiones irreversibles sobre el capital natural a largo plazo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses por la publicación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Labra R, Rock J, Álvarez I. Identifying the key factors of growth in natural resource-driven countries. A look from the knowledge-based economy. *Ensayos Sobre Política Económica*. 2016; 34(79): 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.espe.2015.12.001>
2. Aichele R, Felbermayr G. Estimating the effects of Kyoto on bilateral trade flows using matching econometrics. *The World Economy*. 2013; 36(3): 303-330. <https://doi.org/10.1111/twec.12053>
3. Akadiri S, Alola A, Uzuner G. Economic policy uncertainty and tourism: evidence from the heterogeneous panel. *Current Issues in Tourism*. 2020; 23(20):2507–2514. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1687662>
4. Madrid F de M. Cambio Climático y Huella Ecológica. *Revista de Ciencias*. 2016; 11:105–12. https://doi.org/10.31381/revista_ciencias.v11i0.573
5. Atsu F, Adams S. Energy consumption, finance, and climate change: ¿Does policy uncertainty matter? *Economic Analysis and Policy*. 2021; 70:490–501. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.03.013>
6. Fan C, Tian L, Zhou L, Hou D, Song Y, Qiao X. Examining the impacts of urban form on air pollutant emissions: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*. 2018; 212:405–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.001>
7. Pengue W. Fundamentos de economía ecológica. Buenos Aires: Kaicron, Argentina. 2009. https://www.alfaomega.es/media/pdf/ficha_6956.pdf
8. Danish, Ulucak R, Khan S. Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 54:101996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>
9. Charfeddine L, Yousef Al-Malk A, Al Korbi K. Is it possible to improve environmental quality without reducing economic growth: Evidence from the Qatar economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 82:25–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.001>
10. Carpintero O. La huella ecológica de la agricultura y la alimentación en España, 1955-2000. *Áreas Revista Internacional de Ciencias Sociales*. 2006; 25:31–45. <https://revistas.um.es/areas/article/view/127991>
11. Bilgili F, Ulucak R. The Nexus Between Biomass – Footprint and Sustainable Development. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020; 1-5:175–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10600-9>
12. Ahmad M, Jiang P, Majeed A, Umar M, Khan Z, Muhammad S. The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*. 2020; 69: 101817. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101817>

- 13.** Banister D. Energy, quality of life and the environment: The role of transport. *Transport Reviews*. 1996;16(1):23–35. <https://doi.org/10.1080/01441649608716931>
- 14.** Ulucak R, Bilgili F. A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 188:144–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.191>
- 15.** Charfeddine L. The impact of energy consumption and economic development on Ecological Footprint and CO₂ emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model. *Energy Economics*. 2017; 65:355–74. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.009>
- 16.** Badii M, Guillén A, Serrato O, Abreu J. Huella ecológica y sustentabilidad (Ecological footprint and sustainability). *International Journal of Good Conscience*. 2017;1 2(3):26–41. [http://www.spentamexico.org/v12-n3/A4.12\(3\)26-41.pdf](http://www.spentamexico.org/v12-n3/A4.12(3)26-41.pdf)
- 17.** Tobasura I. Huella ecológica y biocapacidad: indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Luna Azul*. 2008; 26:119–36. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n26/n26a07.pdf>
- 18.** Aşici A, Acar S. Does income growth relocate ecological footprint? *Ecological Indicators*. 2015; 61:707–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.022>
- 19.** Martínez R. Algunos aspectos de la huella ecológica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. 2007; 9(14):11–25. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66615071002.pdf>
- 20.** Palmero F, González F, Miguélez F, Menéndez E, Castro J. Desarrollo sostenible y huella ecológica. Una aplicación a la economía gallega. *Netbiblio*. 2004. 240 p. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5733>
- 21.** Fañanás P. Análisis del impacto de factores técnicos, socioeconómicos y ambientales en la huella ecológica local de Zaragoza. *Universidad de Cantabria*. 2021; 1–132. <https://doi.org/10.3390/su16156672>
- 22.** Ardisana E, Gaínza B, Torres A, Fosado O. Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Chakiñan, Revista De Ciencias Sociales y Humanidades*. 2018; 5:90–101. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rchakin/n5/2550-6722-rchakin-05-00090.pdf>
- 23.** Balsalobre-Lorente D, Shahbaz M, Roubaud D, Farhani S. How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions? *Energy Policy*. 2018; 113:356–67. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- 24.** Destek, Sarkodie S. Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: The role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*. 2019; 650:2483–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017>
- 25.** Rendón E. La Huella Hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *Saber y Hacer Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*. 2015; 2:34–47. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>
- 26.** Alvarado R, Tillaguango B, Murshed M, Ochoa-Moreno S, Rehman A, Işık C, et al. Impact of the informal economy on the ecological footprint: The role of urban concentration and globalization. *Economic Analysis and Policy*. 2022; 75:750–67. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.07.001>
- 27.** Danish, Zhang J, Hassan S, Iqbal K. Toward achieving environmental sustainability target in Organization for Economic Cooperation and Development countries: The role of real income, research and development, and transport infrastructure. *Sustainable Development*. 2020; 28(1):83–90. <https://doi.org/10.1002/sd.1973>
- 28.** Perez D, De Marco O, Alvarez P. La huella ecológica de las naciones. *Reflexiones globales, particularidades ecuatorianas*. *Ciencia Unemi*. 2015; 8(14):93–103. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663828012.pdf>

29. Muñiz I, Rojas C, Busuldu C, García A, Filipe M, Quintana M. Forma urbana y huella ecológica en el Área Metropolitana de Concepción (Chile). *Eure*. 2016; 42(127):209–30. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612016000300009>
30. Muñiz I, Galindo A. Urban form and the ecological footprint of commuting. The case of Barcelona. *Ecological Economics*. 2005; 55(4):499–514. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.008>
31. Badii M. La huella ecológica y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*. 2008; 3(1):672–8. [http://www.spentamexico.org/v3-n1/3\(1\)%20672-678.pdf](http://www.spentamexico.org/v3-n1/3(1)%20672-678.pdf)
32. Vega P, Álvarez Suárez P. La Agenda 21 y la huella ecológica como instrumentos para lograr una universidad sostenible. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*. 2011; 29(2):207–19. <https://acortar.link/Gt53KJ>
33. Sánchez C. Evolution of the climate change concept and its impact in the public health of Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 2016; 33(1):128–38. <https://europepmc.org/article/med/27384632>
34. Valladares P, Villanueva R. Huella Ecológica de Huaraz. *Aporte Santiaguino*. 2009; 2(2):247–56. <https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n2.404>
35. Lozano-Povis A, Alvarez-Montalván C, Moggiano N. El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*. 2021; 12(1):101–8. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
36. Aliaga M. Determinación de la Huella Ecológica Personal como Estrategia para la Adquisición de Patrones de Consumo Sostenibles UNCP 2014. *Revista de Ingeniería de la USIL*. 2016; 3(1):49–69. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/187>
37. Mendoza W. ¿Cómo investigan los economistas? Guía para elaborar y desarrollar un proyecto de investigación. 2014. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/170200>
38. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Análisis de los datos cuantitativos. *Metodología de la investigación*, 6, 270-335. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/M1CCT05_S4_Analisis_de_datos.pdf
39. Beck N, Katz J. Time-Series With Not To Do and What Cross-Section. *Political Science*. 1995; 89(3):634–47. <https://doi.org/10.2307/2082979>
40. Middleton N, Sternberg T. Climate hazards in drylands: A review. *Earth-Science Reviews*. 2013; 126:48–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.07.008>
41. Le C, Andrew R, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, et al. Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data* 2018; 10(4):2141–94. <https://essd.copernicus.org/articles/10/2141/2018/>
42. Dietz T, Eudene. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1997; 94(1): 175-179. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.94.1.175>

ACERCA DE LOS AUTORES

Julio Cesar Quispe Mamani. Ingeniero Economista. Investigador del Concytec-Perú. Especialización en Proyectos de Inversión Pública, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Magíster en Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Universidad de Valparaíso-Chile. Ex becario de la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo AGCID-Chile. Candidato a Doctor en Economía y Políticas Públicas, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Experiencia en publicación de artículos científicos. Docente investigador de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Marcial Guevara Mamani. Ingeniero Economista. Magíster Scientiae en: Economía, Mención en: Planificación y Gestión Pública. Segunda Especialidad en Didáctica Universitaria. Experiencia en el sector privado y Público. Docente de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ingeniería Económica, Perú.

Lucas Ponce Quispe. Contador Público. Licenciado en Ciencias de la Educación, Universidad Nacional del Altiplano. Magister Scientiae en Economía con mención en Planificación y Gestión Pública, Perú.

Manuel Timoteo Enriquez Tavera. Doctor en Economía y Gestión, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú. Experiencia en gestión pública; Jefe de la Oficina de Presupuesto y Director de la Oficina General de Planificación y Desarrollo UNA-Puno, docente de la Facultad de Ingeniería Económica en pre y posgrado, Perú.

German Roberto Quispe Zapana. Bachiller en Contabilidad UNA-Puno. Maestro en contabilidad, Auditoria y Tributación UNA-Puno. Doctor en Economía y desarrollo Sostenible UNA Puno. Docente Universitario, Post Grado; asistencia a congresos y Conferencias Nacionales, diplomados en Universidades Nacionales PUCP. Afiliación a línea de Investigación Gestión pública: Sistemas administrativos; Políticas Públicas: Desarrollo de políticas sociales; Gestión y administración Financiera: Administración de capital de trabajo. Trayectoria de Investigador, elaboración de trabajos de investigación, Bachillerato, Grado de Maestro y Doctor, en defensa de tesis, Perú.