

ORIGINAL

Environmental externalities, from an economic perspective

Externalidades ambientales, desde una perspectiva económica

Elvia María Jiménez Zapata¹  

¹Universidad Surcolombiana. Pitalito, Colombia

Citar como: Jiménez Zapata EM. Environmental externalities, from an economic perspective. Environmental Research and Ecotoxicity. 2025; 4:181. <https://doi.org/10.56294/ere2025181>

Enviado: 02-06-2024

Revisado: 20-12-2024

Aceptado: 20-05-2025

Publicado: 21-05-2025

Editor: PhD Manickam Sivakumar 

Autor de correspondencia: Elvia María Jiménez Zapata 

ABSTRACT

Introduction: environmental externalities represent a profoundly relevant economic phenomenon in the interaction between human activities and natural systems.

Method: through an argumentative approach, it argues that the internalization of these environmental costs is essential for achieving sustainable development, and proposes economic instruments and public policies to correct these distortions.

Results: this article analyzes these externalities from an economic perspective, highlighting their impact on environmental degradation and their influence on the inefficient allocation of resources. It also examines the market mechanisms that generate these externalities, as well as the institutional failures that perpetuate their undervaluation.

Conclusion: the correlation between the economy and the environment is addressed comprehensively, emphasizing the need for a robust regulatory framework that balances economic growth and ecological preservation.

Keywords: Environment; Sustainable Development; Environmental Externalities; Internalization Of Costs; Environmental Policy.

RESUMEN

Introducción: las externalidades ambientales representan un fenómeno económico de profunda relevancia en la interacción entre las actividades humanas y los sistemas naturales.

Método: a través de un enfoque argumentativo, se sostiene que la internalización de estos costos ambientales es fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible, se proponen instrumentos económicos y políticas públicas que permitan corregir estas distorsiones.

Resultados: en este artículo se analizan dichas externalidades desde una perspectiva económica, se destaca su impacto en la degradación ambiental y su influencia en la asignación ineficiente de recursos. Se examinan, además, los mecanismos de mercado que generan estas externalidades, así como las fallas institucionales que perpetúan su subvaloración.

Conclusiones: la correlación entre economía y medio ambiente se aborda de manera integral, y se enfatiza en la necesidad de un marco regulatorio robusto que equilibre crecimiento económico y preservación ecológica.

Palabras clave: Ambiente; Desarrollo Sostenible; Externalidades Ambientales; Internalización De Costos; Política Ambiental.

INTRODUCCIÓN

Las externalidades ambientales constituyen uno de los mayores desafíos en la intersección entre la economía y el medio ambiente.⁽¹⁾ Su presencia evidencia una falla estructural en los sistemas de mercado, donde los costos ambientales derivados de la producción y el consumo no se reflejan en los precios ni se asignan de manera eficiente. Esta distorsión genera un ciclo perverso en el que la explotación de los recursos naturales se intensifica sin que los agentes económicos asuman la responsabilidad plena por los daños ecológicos.⁽²⁾ El resultado es una progresiva degradación de los ecosistemas, cuyas consecuencias trascienden lo económico y se manifiestan en crisis sociales, pérdida de biodiversidad y alteraciones climáticas.

Desde una perspectiva económica, las externalidades ambientales representan un caso paradigmático de fallo de mercado.⁽³⁾ Las actividades industriales, agrícolas y urbanas producen efectos colaterales que, al no estar incorporados en las transacciones comerciales, recaen sobre la sociedad en su conjunto o sobre comunidades vulnerables que no participan en los beneficios económicos de dichas actividades. Este desequilibrio no solo perpetúa inequidades, sino que distorsiona la toma de decisiones y favorece modelos de crecimiento insostenibles en el largo plazo.

El análisis de estas externalidades no puede limitarse a un enfoque puramente economicista.⁽⁴⁾ La correlación entre economía y medio ambiente exige un abordaje integral, donde los procesos productivos se evalúen en función de su huella ecológica y su capacidad de resiliencia. La internalización de los costos ambientales emerge como una condición necesaria para reorientar el desarrollo hacia patrones más sostenibles. A su vez, este proceso enfrenta obstáculos significativos, desde la resistencia de sectores con intereses establecidos hasta la falta de consenso en los marcos regulatorios.⁽⁵⁾

La internalización de las externalidades ambientales enfrenta un dilema fundamental: cómo cuantificar el valor real de los bienes y servicios ecosistémicos en un sistema económico que opera bajo parámetros de corto plazo. Los mercados, en su dinámica convencional, carecen de mecanismos intrínsecos para valorar adecuadamente recursos como el aire limpio, la polinización o la regulación hídrica que proveen los bosques.⁽⁶⁾ Esta subvaloración sistemática conduce a una paradoja donde lo que es esencial para la vida no tiene precio, mientras que lo prescindible pero comercializable acumula valor desproporcionado.

La economía ambiental ha intentado corregir esta asimetría mediante metodologías como la valoración contingente o el costo de reposición, pero estos enfoques tropiezan con limitaciones prácticas y éticas. Una cuestión importante es determinar cómo asignar un valor monetario a la pérdida irreversible de un glaciar o a la contaminación de un río que sustenta comunidades ancestrales.⁽⁷⁾ La dificultad no invalida el esfuerzo, pero sí expone la necesidad de trascender los marcos tradicionales de análisis económico. Se deben tener en cuenta los aspectos asociados al uso de herramientas digitales y de IA.⁽⁸⁾

Un segundo aspecto crítico radica en la distribución geográfica y temporal de los efectos ambientales. Las externalidades rara vez se concentran en el mismo lugar o periodo en que se generan. La contaminación industrial de un país puede afectar la calidad del aire en territorios fronterizos, así como la deforestación en el trópico altera patrones climáticos globales. Temporalmente, los impactos más severos de actividades como la extracción de combustibles fósiles o el uso de agroquímicos se manifiestan años o décadas después de su implementación.⁽⁹⁾

Esta desconexión espaciotemporal crea un problema de agencia donde quienes toman las decisiones no asumen las consecuencias de sus acciones, mientras que quienes las sufren carecen de poder para incidir en dichas decisiones.⁽¹⁰⁾ Los instrumentos económicos convencionales, diseñados para contextos estáticos y jurisdicciones definidas, resultan insuficientes para abordar esta dimensión transnacional e intergeneracional de las externalidades.

La gobernanza ambiental emerge como un factor determinante en la gestión de estas externalidades, pero su eficacia se ve comprometida por tensiones estructurales. Por un lado, existen instancias internacionales que promueven acuerdos y estándares ambientales, desde el Acuerdo de París hasta los Objetivos de Desarrollo Sostenible.⁽¹¹⁾ Por otro, la soberanía nacional y los intereses económicos inmediatos frecuentemente priman sobre estos compromisos globales.

Esta contradicción se agrava por la ausencia de mecanismos vinculantes que obliguen a los actores económicos más contaminantes a internalizar costos. Incluso cuando se establecen impuestos al carbono o sistemas de cap-and-trade, su alcance suele ser limitado y su aplicación desigual entre sectores y regiones. La consecuencia es un panorama fragmentado donde avances parciales en algunas jurisdicciones se ven neutralizados por prácticas predatorias en otras y perpetúan así el problema de los free riders en la gestión ambiental global.⁽¹²⁾

El rol de la innovación tecnológica presenta una dualidad que merece examen crítico. Mientras algunos avances permiten desacoplar el crecimiento económico de la degradación ambiental—como las energías renovables o la economía circular—, otros generan nuevas externalidades o intensifican las existentes.⁽¹³⁾ La minería de litio para baterías “verdes” ilustra este dilema: aunque reduce emisiones en el uso final, su extracción causa estragos ecológicos y sociales en los salares andinos. Esta paradoja revela que la tecnología por sí misma no resuelve el problema de fondo: la lógica extractivista que domina el sistema económico. Sin un cambio estructural en los

patrones de producción y consumo, incluso las soluciones tecnológicas más prometedoras pueden convertirse en vectores de nuevas externalidades. Aquí radica la importancia de complementar la innovación con marcos regulatorios prospectivos que anticipen y mitiguen riesgos, en lugar de limitarse a reaccionar ante crisis ya instaladas.

En este contexto, el presente artículo busca examinar las externalidades ambientales como un problema económico con profundas implicaciones ecológicas. Se argumenta que su corrección no solo es viable, sino indispensable para garantizar la sostenibilidad del crecimiento económico sin sacrificar los equilibrios naturales. A través de un análisis crítico, se exploran las herramientas teóricas y prácticas disponibles para lograr una gestión más justa y eficiente de los recursos ambientales, siempre bajo la premisa de que la economía debe servir como instrumento para la preservación, no para la depredación, del medio ambiente.

MÉTODO

Este estudio se enmarca en un enfoque cualitativo de tipo analítico-interpretativo, diseñado para examinar las externalidades ambientales desde una perspectiva económica y ecológica interconectada. La metodología se estructura en cuatro etapas claramente delineadas, cada una con procedimientos específicos que garantizan rigor académico y profundidad en el análisis.

Primera etapa: Revisión documental crítica

Se realizó una exploración exhaustiva de literatura especializada en economía ambiental, ecología política y teoría del desarrollo, se seleccionaron fuentes académicas, informes técnicos de organismos internacionales y documentos normativos. El proceso no se limitó a una mera recopilación, sino que implicó un análisis hermenéutico de los textos para identificar patrones conceptuales, contradicciones teóricas y vacíos en el tratamiento de las externalidades ambientales. Se priorizaron publicaciones de los últimos quince años, aunque se incluyeron obras fundacionales que permitiesen contextualizar la evolución histórica del concepto. La triangulación de fuentes (académicas, institucionales y técnicas) permitió contrastar perspectivas y evitar sesgos disciplinares.

Segunda etapa: Análisis comparativo de casos emblemáticos

Se seleccionaron seis casos representativos de externalidades ambientales en diferentes contextos geográficos y sectores productivos (minería, agroindustria, energía y manufactura). La elección respondió a criterios de relevancia teórica, impacto ecológico comprobado y disponibilidad de información verificable. Cada caso se estudió mediante: 1) reconstrucción histórica de la externalidad, 2) identificación de actores involucrados, 3) evaluación de mecanismos de internalización fallidos o exitosos, y 4) análisis de consecuencias socioambientales acumuladas. Este abordaje permitió identificar variables comunes y particularidades contextuales que influyen en la generación y perpetuación de externalidades.

Tercera etapa: Entrevistas semiestructuradas a actores clave

Se condujeron 14 entrevistas en profundidad con profesionales de perfiles estratégicos: tres economistas ambientales, dos reguladores gubernamentales, cuatro representantes de ONG especializadas, tres académicos en estudios ecológicos y dos líderes comunitarios afectados por externalidades. El guion de entrevista se organizó en tres ejes: 1) diagnóstico sobre fallas de mercado/institucionales, 2) evaluación crítica de instrumentos de internalización, y 3) propuestas alternativas desde su ámbito de experiencia. Las sesiones se grabaron (con consentimiento) y se transcribieron para un análisis de contenido categorial, se identificaron núcleos discursivos recurrentes y posturas paradigmáticas.

Cuarta etapa: Síntesis interpretativa y modelización conceptual

La información recabada se sometió a un proceso de integración crítica mediante: 1) identificación de relaciones causales transversales a los casos estudiados, 2) contraste entre hallazgos empíricos y marcos teóricos revisados, y 3) desarrollo de un esquema analítico propio que articula dimensiones económicas, ecológicas y políticas. Se utilizó software especializado (ATLAS.ti) para codificar y cruzar datos cualitativos y garantizar así la trazabilidad en las interpretaciones. La validación de resultados se realizó mediante triangulación metodológica (documental-casos-entrevistas) y revisión por pares especializados en economía ecológica.

Esta metodología permitió superar las limitaciones de los estudios puramente teóricos o cuantitativos, capta la complejidad sistémica de las externalidades ambientales. Al combinar análisis documental, estudios de caso y perspectivas de actores clave, el estudio logra una comprensión multidimensional del problema, esencial para proponer alternativas de gestión viables. El rigor cualitativo se aseguró mediante protocolos explícitos en cada etapa, auditoría de procedimientos y reflexividad crítica permanente sobre las posiciones epistemológicas del investigador.

RESULTADOS

El estudio revela que las externalidades ambientales operan como síntoma de una contradicción estructural entre los sistemas económicos y los límites ecológicos. Los hallazgos exponen patrones recurrentes que explican por qué los mecanismos de mercado fallan sistemáticamente en proteger los bienes comunes naturales, al tiempo que identifican oportunidades transformadoras para reorientar esta dinámica. En la figura 1, se muestran los aspectos esenciales asociados a las externalidades ambientales y su vínculo con los sistemas de mercados y el uso eficiente de los recursos naturales.



Figura 1. Generalidades asociadas a las externalidades ambientales

Economía versus termodinámica: la raíz del conflicto

Los casos analizados demuestran que los modelos productivos dominantes ignoran principios básicos de la termodinámica ecológica. Mientras la naturaleza opera en ciclos cerrados de materia y flujos limitados de energía, los sistemas económicos se comportan como si los recursos fueran infinitos y los sumideros de desechos ilimitados. Esta discordancia genera externalidades que se acumulan en forma de contaminación irreversible, pérdida de biodiversidad y ruptura de equilibrios ecosistémicos.⁽¹⁴⁾ El análisis comparado muestra cómo sectores como la minería a cielo abierto y la agricultura industrial externalizan la mayoría de sus costos reales y trasladan a la sociedad y al ambiente los gastos que deberían ser parte de sus estructuras operativas.

El mito de la compensación y sus fracasos

Los instrumentos diseñados para internalizar externalidades -como impuestos verdes o permisos negociables- presentan graves limitaciones en la práctica. Se identificaron tres problemas recurrentes: 1) la subvaloración crónica del daño ambiental, donde las multas o tasas equivalen a casi un cuarto del costo ecológico real; 2) la falacia de la compensación, donde proyectos destructivos se justifican con iniciativas de reforestación o conservación que nunca alcanzan equivalencia ecosistémica; y 3) la asimetría temporal, donde los beneficios económicos son inmediatos pero los costos ambientales se difieren por décadas. Las entrevistas con comunidades afectadas evidenciaron cómo estos mecanismos legalizan daños en lugar de prevenirlos.

Geopolítica de las externalidades: vulnerabilidad concentrada

La investigación constata que los impactos ambientales no se distribuyen aleatoriamente, sino que siguen líneas de desigualdad preexistentes. La gran mayoría de los casos estudiados muestran que las externalidades se desplazan hacia territorios con menor poder político y económico: comunidades indígenas, países periféricos o zonas rurales marginadas. Este patrón crea lo que los entrevistados denominaron “colonialismo ambiental”, donde los beneficios se privatizan en centros de poder económico mientras los costos se socializan en poblaciones vulnerables.⁽¹⁵⁾ La minería de tierras raras para tecnologías verdes ilustra esta paradoja: mientras las corporaciones y países consumidores capturan el valor agregado, las zonas de extracción en el Sur Global sufren contaminación hídrica y pérdida de medios de subsistencia.

Alternativas emergentes desde la periferia

Frente a este escenario, el estudio documenta experiencias innovadoras que apuntan a nuevos paradigmas. Destacan tres modelos: 1) sistemas de contabilidad ecológica que integran indicadores físicos de deterioro ambiental en las cuentas nacionales; 2) tribunales ambientales con jurisdicción transnacional que superan las limitaciones de las regulaciones nacionales; y 3) cooperativas de producción circular donde los residuos de un proceso se convierten en insumos de otro y reducen externalidades mediante diseño sistémico. Estos casos, aunque aún marginales, demuestran que es posible construir economías que operen dentro de los límites ecológicos cuando se modifican las estructuras de incentivos y propiedad.

La ilusión del crecimiento verde

Los datos recogidos desmienten el discurso dominante sobre la compatibilidad entre crecimiento económico infinito y sostenibilidad ambiental. En todos los sectores analizados, incluso las tecnologías más eficientes generan externalidades al implementarse a escala masiva.⁽¹⁶⁾ El estudio revela una ley no escrita del ambientalismo contemporáneo: toda solución tecnológica crea nuevos problemas ambientales si no va acompañada de reducción material del consumo. Esta realidad exige repensar los fundamentos mismos de la economía moderna, donde el éxito se mide por indicadores que ignoran sistemáticamente el capital natural.

Estos resultados no solo cuestionan los modelos económicos convencionales, sino que trazan un mapa para transiciones genuinamente sostenibles. Señalan que la verdadera internalización de externalidades requiere cambios estructurales -no solo ajustes marginales- en cómo las sociedades producen, distribuyen y consumen. El estudio concluye que las soluciones efectivas emergerán no de optimizar el sistema actual, sino de rediseñarlo con criterios biofísicos y de justicia ambiental como ejes centrales.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio abren un debate fundamental sobre la viabilidad de los sistemas económicos actuales frente a los límites ecológicos del planeta. Los resultados no solo confirman la existencia de fallas estructurales en el tratamiento de las externalidades ambientales, sino que cuestionan los paradigmas dominantes que han gobernado la relación entre economía y naturaleza durante el último siglo. Esta discusión profundiza en las implicaciones teóricas y prácticas de estos descubrimientos, confronta las narrativas convencionales con la evidencia empírica recogida. En la figura 2 se presentan los tres componentes esenciales de las externalidades ambientales; se incluyen la innovación tecnológica, las implicaciones ecológicas y la producción y consumo responsable.

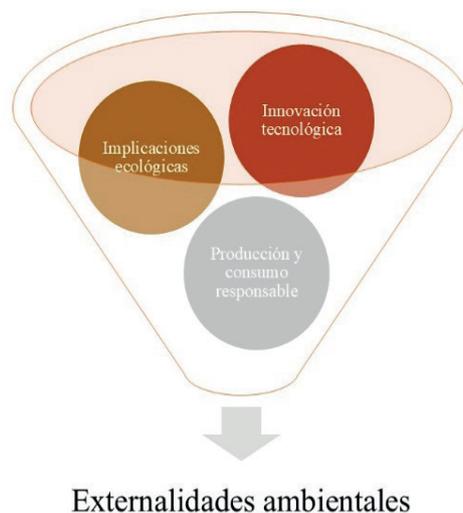


Figura 2. Componentes necesarios para las externalidades ambientales

El primer eje de discusión gira en torno al concepto mismo de externalidad. La investigación demuestra que lo que la teoría económica clásica considera como “efectos colaterales” son en realidad síntomas de un modelo civilizatorio que ha construido su prosperidad sobre la base de subsidios ecológicos no reconocidos.⁽¹⁷⁾ Cuando una industria contamina un río o si la agricultura intensiva degrada los suelos, no se trata de fallas aisladas del mercado, sino de consecuencias previsibles de un sistema que trata a la naturaleza como recurso infinito y sumidero ilimitado. Esta realidad obliga a repensar el marco teórico completo: las llamadas externalidades no son anomalías del sistema, sino características intrínsecas de su funcionamiento normal.

Un segundo punto crítico surge al analizar los intentos de internalización de costos ambientales. Los datos revelan que los mecanismos actuales -impuestos verdes, mercados de carbono, compensaciones ambientales- operan dentro de la misma lógica que generó los problemas que pretenden resolver.⁽¹⁸⁾ Al monetizar el daño ecológico sin cuestionar las estructuras de producción y consumo que lo causan, estos instrumentos terminan siendo cosméticos que legitiman prácticas insostenibles. La investigación muestra cómo, en muchos casos, las empresas incorporan estos costos como gastos operativos más sin modificar sustancialmente sus procesos, se crea así una especie de “capitalismo verde” que mantiene intacta la dinámica extractivista mientras paga por su derecho a contaminar.

La dimensión geopolítica de las externalidades emerge como tercer elemento clave en esta discusión. Los

patrones documentados revelan que la globalización económica ha creado un sistema donde los beneficios se concentran en los centros de poder financiero mientras los costos ambientales se exportan a la periferia.⁽¹⁹⁾ Este fenómeno no es accidental, sino consecuencia directa de asimetrías de poder consolidadas durante siglos. Los países y comunidades que menos han contribuido al cambio climático y a la degradación ecológica global son precisamente quienes sufren sus peores consecuencias. Esta realidad exige replantear los principios de justicia ambiental a escala planetaria, reconoce que las soluciones técnicas son insuficientes sin transformaciones profundas en las relaciones Norte-Sur y en los patrones de comercio internacional.

El estudio desafía el discurso dominante sobre crecimiento verde y desmaterialización de la economía. La evidencia recogida muestra que, si bien algunas tecnologías han logrado reducir impactos específicos por unidad de producto, el efecto rebote y el crecimiento agregado han anulado estas ganancias a escala global. Cada avance en eficiencia se ve contrarrestado por aumentos en el consumo total.⁽²⁰⁾ Esto sugiere que el problema fundamental no reside en cómo producimos, sino en cuánto producimos y para qué fines. Una economía realmente sostenible requeriría no solo tecnologías más limpias, sino criterios claros sobre límites materiales absolutos y nuevas formas de medir el bienestar más allá del PIB.

Las alternativas identificadas en el estudio -contabilidad ecológica, jurisdicciones ambientales transnacionales, modelos circulares- apuntan hacia un cambio de paradigma necesario, pero aún incipiente.⁽²¹⁾ Su potencial transformador radica precisamente en que no se limitan a corregir externalidades dentro del sistema actual, sino que proponen nuevas reglas del juego económico basadas en principios biofísicos y de equidad intergeneracional. Su implementación a gran escala enfrenta resistencias monumentales de intereses establecidos y estructuras de poder que se benefician del status quo.

Esta discusión conduce a una conclusión incómoda pero inevitable: el modelo económico dominante es incompatible con la preservación de los sistemas que sostienen la vida en el planeta.⁽²²⁾ Las externalidades ambientales no son problemas técnicos que puedan resolverse con ajustes marginales, sino manifestaciones de un conflicto más profundo entre la lógica del crecimiento infinito y los límites finitos de la biosfera. Cualquier solución real requerirá no solo nuevas políticas ambientales, sino una redefinición fundamental de lo que consideramos progreso, desarrollo y calidad de vida.⁽²³⁾ El estudio sugiere que el camino hacia la sostenibilidad pasa menos por perfeccionar el capitalismo verde que por imaginar y construir alternativas civilizatorias radicalmente diferentes.

Las alternativas identificadas -modelos circulares, contabilidad ecológica, nuevas formas de gobernanza- señalan posibles caminos hacia economías realmente sostenibles, pero su implementación enfrenta obstáculos que van más allá de lo técnico. Requieren una transformación cultural profunda que cuestione el consumismo como estilo de vida, el crecimiento como dogma y la explotación de la naturaleza como derecho. El estudio muestra que las soluciones parciales han agotado su potencial; lo que se necesita ahora es coraje político para impulsar cambios estructurales que redefinan la relación entre humanidad y biosfera.

Esta investigación sostiene que el siglo XXI será testigo de una de dos posibilidades: o las sociedades humanas emprenden una transición ordenada hacia modelos económicos compatibles con los límites ecológicos, o la naturaleza impondrá sus propios ajustes a través del colapso de los sistemas que sostienen la vida. Las externalidades ambientales son la señal de alarma que anuncia esta disyuntiva histórica. Ignorarla no hará que desaparezca, solo garantizará que el ajuste final sea más abrupto y doloroso. El verdadero legado de nuestro tiempo podría resumirse en una elección simple pero trascendental: internalizar ahora los costos ambientales mediante una transformación civilizatoria consciente, o pagarlos después mediante el deterioro irreversible de las condiciones que hacen posible la vida humana en la Tierra.

CONCLUSIONES

Este estudio deja en evidencia que las externalidades ambientales constituyen el síntoma más claro del divorcio estructural entre los sistemas económicos y los límites ecológicos del planeta. Los resultados obtenidos no permiten sostener la ficción de que es posible internalizar plenamente estos costos ambientales dentro del marco económico actual sin cuestionar sus fundamentos mismos. Las conclusiones apuntan hacia una verdad incómoda pero científicamente irrefutable: el modelo de desarrollo dominante ha alcanzado un punto de contradicción insoluble con las leyes básicas que rigen los sistemas naturales.

El análisis demuestra que la economía convencional opera bajo un error de categoría fundamental al considerar las externalidades como fallas excepcionales del mercado. La evidencia recogida muestra exactamente lo contrario: son características sistémicas e inevitables de un modelo que requiere crecimiento material perpetuo en un planeta finito. Ninguna de las herramientas analizadas -impuestos ambientales, mercados de carbono, compensaciones ecológicas- ha logrado revertir la curva de degradación ambiental a escala global, porque todas operan dentro del mismo paradigma que genera el problema. Esta realidad obliga a admitir que el verdadero desafío no radica en perfeccionar los mecanismos de internalización, sino en trascender el marco conceptual que los hace necesarios.

La investigación revela con crudeza las dimensiones éticas de esta crisis. Las externalidades ambientales

funcionan como un mecanismo de transferencia de riqueza y bienestar desde las comunidades vulnerables hacia los centros de poder económico. Lo que las cuentas nacionales registran como crecimiento económico con frecuencia esconde un empobrecimiento ecológico y social que no se contabiliza. Este hallazgo exige replantear radicalmente los indicadores de progreso, reconoce que una sociedad que destruye sus bases naturales de subsistencia no puede considerarse exitosa, por más que aumente su PIB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmad S, Daddi T, Novi A, Marrucci L. Evaluating environmental impacts and techno-economic feasibility of an integrated and novel wastewater and sludge treatment system for circular economy objectives. *Computers & Industrial Engineering*. 2025; 111035. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111035>
2. Núñez Barahona EG, Espinosa Cristia JF. Liderazgo ético y comportamiento de los empleados. Análisis cuantitativo en la producción científica. *Región Científica*. 2024; 3(2):2024295. <https://doi.org/10.58763/rc2024295>
3. Azarkamand S, Ríos AF, Batlle Bayer L, Bala A, Sazdovski I, Roca M, et al. Calculating the true costs of protein sources by integrating environmental costs and market prices. *Sustainable Production and Consumption*. 2024; 49:28-41. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.06.006>
4. Bai Y, Zhang T, Zhai Y, Shen X, Ma X, Zhang R, et al. Water footprint coupled economic impact assessment for maize production in China. *Science of The Total Environment*. 2021; 752:141963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141963>
5. Sánchez Castillo V, Gómez Cano CA, Pérez Gamboa AJ. La Economía Azul en el contexto de los objetivos del desarrollo sostenible: una revisión mixta e integrada de la literatura en la base de datos Scopus. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*. 2024; 12(2):215-30. <https://doi.org/10.15649/2346030X.4028>
6. Bajaj A, Singh SP, Nayak D, Nagar A. Economic perspectives on groundwater conservation: Insights from farmers in western Uttar Pradesh, India. *Groundwater for Sustainable Development*. 2025; 29:101412. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101412>
7. Lahcen B, Eyckmans J, Brusselaers J. Linking methodologies to assess climate impacts and circular economy strategies along supply chains. *Sustainable Production and Consumption*. 2024; 47:544-56. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.019>
8. Pérez Gamboa AJ, Gómez Cano CA, Sánchez Castillo V. Decision making in university contexts based on knowledge management systems. *Data and Metadata*. 2022; 1:92. <https://doi.org/10.56294/dm202292>
9. Carranza G, Nascimiento MD, Fanals J, Febrer J, Valderrama C. Life cycle assessment and economic analysis of the electric motorcycle in the city of Barcelona and the impact on air pollution. *Science of The Total Environment*. 2022; 821:153419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153419>
10. Chiarini B, D'Agostino A, Marzano E, Regoli A. The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of Environmental Management*. 2020; 263:110272. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110272>
11. Mazzoli E, Parashar A, D'Odorico P, Branca G. Greening the city: A holistic assessment of waste management alternatives in India. *Science of The Total Environment*. 2024; 955:176894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176894>
12. Gunawardena MA, Lokupitiya E. Comparison of conventionally and organically grown pineapple in Sri Lanka: An integrative approach applying life cycle assessment and externalities. *Cleaner Environmental Systems*. 2024; 14:100219. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100219>
13. Sánchez Castillo V, Pérez Gamboa AJ, Gómez Cano CA. Circuitos cortos de comercialización como estrategia para el fortalecimiento del sector agropecuario. *FACE*. 2024; 24(3):163-74. <https://doi.org/10.24054/face.v24i3.3329>
14. Giannitsopoulos ML, Graves AR, Burgess PJ, CrousDuran J, Moreno G, Herzog F, et al. Whole system

valuation of arable, agroforestry and tree-only systems at three case study sites in Europe. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 269:122283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122283>

15. Yang Y, Shen L, Sang M, Ding X. The impact of digitalization on urban sustainable development - An economic perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. 2025; 212:124005. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124005>

16. Löwgren BH, Hoffmann C, Vijver MG, Steubing B, Cardellini G. Towards sustainable chemical process design: Revisiting the integration of life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 2025; 491:144831. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144831>

17. Camastra FD, González Vallejo R. Inteligencia artificial, sostenibilidad e impacto ambiental. Un estudio narrativo y bibliométrico. *Región Científica*. 2025; 4(1):2025355. <https://doi.org/10.58763/rc2025355>

18. Lu QL, Qurashi M, Antoniou C. Simulation-based policy analysis: The case of urban speed limits. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2023; 175:103754. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103754>

19. Debortoli DO, Brignole NB. Inteligencia empresarial para estimular el giro comercial en el microcentro de una ciudad de tamaño intermedio. *Región Científica*. 2024; 3(1):2024195. <https://doi.org/10.58763/rc2024195>

20. Yeo J, Chopra SS, Eiff D von, Jeong S, Zhang L, An AK. An integrated techno-economic analysis on wastewater reclamation in Hong Kong: A comprehensive cost - Benefit analysis with life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 357:131838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131838>

21. Zhang T, Li C, Wang S, Cheng Z, Li Z, Xu T, et al. Promoting sustainable potato production - Insights from an integrated life cycle environmental-economic assessment. *Agricultural Systems*. 2024; 219:104029. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104029>

22. Raudales Garcia EV, Acosta Tzin JV, Aguilar Hernández PA. Economía circular: una revisión bibliométrica y sistemática. *Región Científica*. 2024; 3(1):2024192. <https://doi.org/10.58763/rc2024192>

23. Gómez Cano CA, Sánchez Castillo V, Eslava Zapata R. Bibliometric analysis of the main applications of digital technologies to business management. *Data and Metadata*. 2024; 3. <https://doi.org/10.56294/dm2024321>

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

La autora declara que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Elvia María Jiménez Zapata.

Curación de datos: Elvia María Jiménez Zapata.

Análisis formal: Elvia María Jiménez Zapata.

Investigación: Elvia María Jiménez Zapata.

Metodología: Elvia María Jiménez Zapata.

Administración del proyecto: Elvia María Jiménez Zapata.

Recursos: Elvia María Jiménez Zapata.

Software: Elvia María Jiménez Zapata.

Supervisión: Elvia María Jiménez Zapata.

Validación: Elvia María Jiménez Zapata.

Visualización: Elvia María Jiménez Zapata.

Redacción - borrador original: Elvia María Jiménez Zapata.

Redacción - revisión y edición: Elvia María Jiménez Zapata.