

ORIGINAL

Environmental Impacts of Hydroelectric Power Plants: A Bibliometric Analysis from the Perspective of Sustainability

Impactos Ambientales de las Centrales Hidroeléctricas: Un Análisis Bibliométrico desde la Perspectiva de la Sostenibilidad

Juan Manuel Andrade Navia¹  

¹Universidad Surcolombiana. Pitalito, Huila, Colombia.

Citar como: Andrade Navia JM. Environmental Impacts of Hydroelectric Power Plants: A Bibliometric Analysis from the Perspective of Sustainability. Environmental Research and Ecotoxicity. 2025; 4:174. <https://doi.org/10.56294/ere2025174>

Enviado: 18-05-2024

Revisado: 28-11-2024

Aceptado: 13-05-2025

Publicado: 14-05-2025

Editor: Manickam Sivakumar 

Autor para la correspondencia: Juan Manuel Andrade Navia 

ABSTRACT

Hydropower, as a renewable source, presents a complex balance between energy benefits and environmental impacts. This study examines recent scientific production on the environmental effects of hydroelectric power plants through a bibliometric analysis of articles indexed in Scopus (2020-2024), using VOSviewer. Network analysis tools were employed to explore patterns of scientific productivity, thematic trends, and conceptual relationships. The analysis identified three predominant thematic axes: alteration of aquatic ecosystems, greenhouse gas emissions, and socio-environmental conflicts. The results underscore the need for multidisciplinary approaches that integrate environmental, social, and political dimensions in the planning of hydropower projects. There is a particular urgency in developing frameworks that balance energy demands with ecosystem conservation and the rights of affected communities. The study suggests strengthening applied research that links scientific evidence with governance mechanisms and public policies in the energy sector.

Keywords: Hydropower; Environmental Impact; Sustainability; Ecosystem Management; Energy Policies.

RESUMEN

La energía hidroeléctrica, como fuente renovable, plantea un complejo equilibrio entre beneficios energéticos e impactos ambientales. Este estudio examina la producción científica reciente sobre los efectos ambientales de las centrales hidroeléctricas mediante un análisis bibliométrico de artículos indexados en Scopus (2020-2024), mediante la herramienta VOSviewer. Se utilizaron herramientas de análisis de redes, se exploraron patrones de productividad científica, tendencias temáticas y relaciones conceptuales. El análisis identificó tres ejes temáticos predominantes: alteración de ecosistemas acuáticos, emisiones de gases de efecto invernadero y conflictos socioambientales. Los resultados destacan la necesidad de enfoques multidisciplinares que integren dimensiones ambientales, sociales y políticas en la planificación de proyectos hidroeléctricos. Se evidencia particular urgencia en desarrollar marcos que equilibren las demandas energéticas con la conservación de ecosistemas y derechos de comunidades afectadas. El estudio sugiere fortalecer la investigación aplicada que vincule evidencia científica con mecanismos de gobernanza y políticas públicas en el sector energético.

Palabras clave: Energía Hidroeléctrica; Impacto Ambiental; Sostenibilidad; Gestión de Ecosistemas; Políticas Energéticas.

INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas han sido históricamente consideradas como una piedra angular en la transición hacia sistemas energéticos bajos en carbono. A diferencia de los combustibles fósiles, esta tecnología aprovecha la energía potencial del agua para generar electricidad sin emisiones directas durante su operación.^(1,2,3) Sin embargo Fan⁽⁴⁾ defiende que, esta aparente limpieza energética oculta una compleja red de impactos ambientales que se manifiestan a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos, desde su construcción hasta su desmantelamiento. La magnitud de estos efectos varía según factores geográficos, climáticos y las características técnicas de cada represa.^(5,6)

Li⁽⁷⁾ y Yuan-Sheng⁽⁸⁾ hacen notar que uno de los impactos más significativos ocurre en los ecosistemas acuáticos, donde la fragmentación de ríos altera drásticamente los regímenes hidrológicos naturales. La creación de embalses transforma ecosistemas fluviales dinámicos en sistemas lénticos y afectan la composición de especies acuáticas y terrestres. Schulthoff⁽⁹⁾ y Zhang⁽¹⁰⁾ destacan cómo estas modificaciones generan pérdida de biodiversidad, particularmente en especies migratorias que dependen de la conectividad fluvial. Además, Broadley⁽¹¹⁾ plantea que, los cambios en los patrones de sedimentación aguas abajo pueden comprometer la productividad de ecosistemas costeros y deltaicos.

Paradójicamente, aunque se promocionan como energía limpia, las hidroeléctricas en regiones tropicales pueden ser fuentes importantes de gases de efecto invernadero.^(12,13) La descomposición de materia orgánica en los embalses genera emisiones significativas de metano, un gas con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO₂. Estas emisiones son particularmente intensas durante los primeros años posteriores al llenado del embalse, aunque persisten en el largo plazo.^(14,15)

Los impactos sociales y culturales constituyen otra dimensión crítica del problema. La construcción de grandes represas frecuentemente implica el desplazamiento forzado de comunidades locales, con consecuencias profundas en sus modos de vida y estructuras sociales.^(16,17) Según Sergeant⁽¹⁸⁾ estas afectaciones se distribuyen de manera desigual, al beneficiar principalmente a centros urbanos e industriales mientras las cargas recaen sobre poblaciones rurales e indígenas. Los conflictos socioambientales derivados de estos proyectos han motivado el desarrollo de nuevos marcos normativos y estándares internacionales para la evaluación de impactos.^(19,20)

Estas aproximaciones incluyen desde tecnologías para reducir emisiones de gases hasta diseños que mantienen la conectividad fluvial. Sin embargo, su implementación enfrenta barreras técnicas, económicas y políticas que limitan su adopción generalizada.^(21,22)

El creciente cuerpo de investigación sobre estos impactos evidencia la necesidad de análisis sistemáticos que sintetizen el estado actual del conocimiento. Este artículo se justifica por la urgencia de comprender los patrones y tendencias en la investigación sobre impactos ambientales de hidroeléctricas, particularmente en el contexto de los compromisos climáticos globales y las metas de desarrollo sostenible. El objetivo de este estudio es analizar mediante herramientas bibliométricas la producción científica reciente (2020-2024) sobre los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas.

MÉTODO

Este estudio se fundamentó en un análisis bibliométrico para examinar la producción científica sobre los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas. Para garantizar una cobertura exhaustiva, se seleccionó la base de datos Scopus por su reconocida amplitud en la indexación de investigaciones científicas en los campos de ciencias ambientales, ingeniería energética y estudios de sostenibilidad. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software VOSviewer, reconocido por su eficacia en el análisis de redes bibliométricas y visualización de relaciones conceptuales.^(23,24)

Fase 1. Definición de criterios de búsqueda y recolección de datos

El proceso metodológico inició con la elaboración de una estrategia de búsqueda que integró términos clave relacionados con tres dimensiones fundamentales: el tipo de tecnología energética (incluyó términos como “hidroeléctrica” y “hydroelectric power”), los impactos ambientales (con conceptos como “environmental impact” y “impacto ecológico”) y los componentes ecosistémicos afectados (como “biodiversidad acuática” y “river ecosystems”). La búsqueda se circunscribió al período 2020-2024 y se ejecutó en los campos de título, resumen y palabras clave, se emplearon operadores booleanos para refinar los resultados (TITLE-ABS-KEY (“hidroeléctrica” OR “hydroelectric” OR “represa” OR “dam”). La cadena de búsqueda estructurada combinó estos elementos con filtros por tipo de documento y rango temporal, lo que aseguró la relevancia de los estudios recuperados.

Fase 2. Extracción y filtrado de datos

Los registros obtenidos se sometieron a un riguroso proceso de selección en tres etapas consecutivas. Inicialmente se eliminaron documentos no pertinentes como actas de congresos o capítulos de libro, se conservaron exclusivamente artículos científicos originales. Posteriormente se aplicó un filtrado por idioma, al

seleccionar únicamente publicaciones en español e inglés para mantener la coherencia lingüística del análisis. Como etapa final, se realizó una revisión manual exhaustiva de títulos y resúmenes, y se descartaron aquellos trabajos que no abordaran directamente los impactos ambientales de las hidroeléctricas, lo que permitió obtener un corpus documental depurado y altamente especializado.

Fase 3. Análisis bibliométrico con VOSviewer

La muestra depurada se analizó mediante el software VOSviewer, que permitió examinar diversos aspectos de la producción científica. Este análisis incluyó la evaluación de la productividad por año y campo de estudio, así como la identificación de patrones temáticos a través del análisis de co-ocurrencia de palabras clave. La visualización mediante mapas bibliométricos reveló la estructura conceptual del campo de estudio, al destacar las relaciones entre los diferentes temas de investigación y su evolución temporal.

Fase 4. Interpretación y síntesis de resultados

Los datos cuantitativos obtenidos se complementaron con un análisis cualitativo para contextualizar los hallazgos bibliométricos. Los clusters temáticos identificados se organizaron en tres grandes ejes de investigación: alteración de ecosistemas acuáticos, emisiones de gases de efecto invernadero y conflictos socioambientales. Este proceso interpretativo permitió establecer conexiones entre las tendencias de publicación y los desafíos prácticos en la gestión sostenible de proyectos hidroeléctricos, al identificar tanto las áreas de consenso científico como aquellas que requieren mayor atención investigativa.

Esta metodología sistemática proporcionó un marco robusto para caracterizar el estado actual del conocimiento sobre los impactos ambientales de las hidroeléctricas, al ofrecer una base empírica sólida para orientar futuras investigaciones y políticas en el sector energético. El enfoque combinado cuantitativo-cualitativo permitió superar las limitaciones de los análisis meramente estadísticos, al generar una comprensión integral de las dinámicas de investigación en este campo.^(25,26)

RESULTADOS

La fórmula de búsqueda de información empleada arrojó 586 documentos que cumplían con los criterios de selección empleados, la distribución anual de estos se refleja en la tabla 1. Se observa que el 27,8 % de los artículos se distribuyeron en el año 2024, lo que indica un crecimiento exponencial en las investigaciones publicadas sobre el tema en los últimos años. Con respecto al año inicial (2020), esto representó un crecimiento del 83,9 % en los siguientes años.

Año	f(%)
2020	94 (16,2)
2021	109 (18,6)
2022	93 (15,8)
2023	127 (21,6)
2024	163 (27,8)
Total	586 (100)

En cuanto a la distribución por temáticas, se observa que las ciencias ambientales ocupan el principal puesto en la producción temática. Seguidamente, el campo de energías ocupa el segundo lugar, y el tercero las ingenierías. Esto indica que la producción científica sobre los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas se están analizando desde el prisma del impacto medioambiental y energético que producen (figura 1).

El análisis de confluencia de palabras clave indica un panorama de investigación multidimensional en torno a los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas. Los hallazgos del análisis de confluencia de palabras claves, presentados en la figura 2, permiten cuantificar la producción científica y diseñar una visión estructural de cómo se ha abordado esta problemática en los últimos años. Este análisis permite identificar tres ejes temáticos predominantes relacionados con la alteración de ecosistemas acuáticos, emisiones de gases de efecto invernadero y conflictos socioambientales. Estos ejes, distribuidos en la literatura, indican preocupaciones centrales de la comunidad científica. Como se observa en las interrelaciones, estas redes semánticas no operan de manera aislada, sino que interactúan en un entramado complejo donde los factores ecológicos, climáticos y sociales se entrelazan.

deltas y planicies aluviales, lo que puede desencadenar procesos de erosión costera y salinización de acuíferos. Estos efectos en cascada subrayan la importancia de evaluar los proyectos hidroeléctricos desde una perspectiva de cuenca hidrográfica integral.^(12,16)

Las estrategias de mitigación han evolucionado desde enfoques tradicionales, como escaleras para peces, hasta diseños más innovadores que buscan simular regímenes de flujo natural.^(4,22) No obstante Chadwick et al.⁽³²⁾ defiende que, su efectividad varía según el contexto ecológico y climático.

De Heredia⁽³³⁾ y Molisani⁽³⁴⁾ enfatizan en la necesidad de integrar criterios ecosistémicos en las etapas iniciales de planificación, mediante herramientas como la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Sin embargo, la aplicación de estos enfoques aun es limitada, especialmente en países con marcos regulatorios débiles.^(19,35) Este vacío destaca, en opinión de los autores, la urgencia de fortalecer la gobernanza ambiental y promover estándares internacionales que garanticen la sostenibilidad de los proyectos hidroeléctricos.

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Aunque las hidroeléctricas se promocionan como energía limpia, Mirzakhani⁽³⁶⁾ y Billah⁽³⁷⁾ demuestran que pueden ser fuentes significativas de metano (CH₄), un gas con un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el CO₂. Estas emisiones provienen principalmente de la descomposición anaeróbica de materia orgánica en los embalses, especialmente en zonas tropicales donde la alta productividad biológica y las temperaturas cálidas aceleran los procesos de degradación. Datos satelitales han revelado que algunos embalses emiten tanto CH₄ como centrales termoeléctricas de similar capacidad, al cuestionar su clasificación como energía “cero emisiones”.⁽³⁸⁾

La magnitud de las emisiones depende de múltiples factores, como la edad del embalse, el tipo de vegetación inundada y las condiciones climáticas.^(39,40) Durante los primeros 10 años posteriores al llenado, las emisiones pueden ser particularmente altas debido a la descomposición de biomasa recién inundada.^(18,41)

Las estrategias para reducir emisiones incluyen la tala previa de vegetación y el manejo de niveles de agua. Sin embargo, su implementación enfrenta obstáculos económicos y logísticos, especialmente en mega-proyectos.^(42,43) Alternativas como los sistemas de captura de gases en embalses están en fase experimental, con resultados aún inciertos.⁽⁴⁴⁾ En opinión de los autores la falta de metodologías estandarizadas y datos locales precisos aún son un desafío clave para evaluar el verdadero impacto climático de la hidroelectricidad.

Conflictos Socioambientales

Los proyectos hidroeléctricos frecuentemente generan tensiones entre actores con intereses divergentes: gobiernos que buscan energía “limpia”, empresas privadas que priorizan rentabilidad, y comunidades locales que defienden sus territorios y modos de vida.^(45,46) Estos casos revelan patrones comunes: consultas previas insuficientes, desplazamientos forzados y distribución inequitativa de beneficios.^(31,47)

Los pueblos indígenas son particularmente vulnerables, ya que sus territorios suelen coincidir con áreas de alto potencial hidroeléctrico.^(48,49) Esto ha impulsado marcos legales como el Convenio 169 de la OIT, aunque su aplicación aún es desigual.⁽⁵⁰⁾

Baratov et al.⁽⁵¹⁾ destaca la importancia de mecanismos de participación genuina y reparto justo de beneficios. No obstante, en países con altas desigualdades, persisten desafíos para equilibrar desarrollo energético y derechos humanos.^(6,13,29) En opinión de los autores, los impactos sociales son tan críticos como los ambientales. Avanzar hacia una hidroelectricidad sostenible requiere no solo mejoras técnicas, sino también transformaciones en la gobernanza energética.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que la investigación sobre impactos ambientales de hidroeléctricas ha evolucionado hacia enfoques más integrales, al superar la dicotomía inicial entre beneficios energéticos y costos ecológicos.^(52,53) Williams⁽³⁰⁾ demuestra que los efectos ambientales no son meros daños colaterales, sino consecuencias sistémicas que interactúan con factores climáticos y sociales. Este cambio de paradigma se refleja en el creciente número de estudios que adoptan perspectivas interdisciplinarias, al combinar hidrología, ecología y ciencias sociales.^(33,54) Sin embargo, en opinión de los autores, persisten asimetrías significativas entre el conocimiento generado y su aplicación en políticas públicas, particularmente en países en desarrollo donde los marcos regulatorios suelen priorizar el desarrollo energético sobre la protección ambiental.

Un hallazgo clave es el reconocimiento de que los impactos varían sustancialmente según condiciones geográficas y escalas temporales.^(37,38) Mientras en regiones templadas se han logrado avances en mitigación mediante tecnologías de bajo impacto, en ecosistemas tropicales los desafíos aun son críticos debido a su alta sensibilidad ecológica y complejidad social.^(55,56) Esta variabilidad cuestiona la validez de enfoques estandarizados y resalta la necesidad de evaluaciones caso por caso que consideren particularidades locales. Además, el análisis revela que las soluciones puramente técnicas son insuficientes si no van acompañadas de mecanismos robustos de gobernanza y participación comunitaria.

La creciente atención a dimensiones sociales y climáticas en la literatura analizada marca un giro importante en el campo. Investigaciones recientes ya no se limitan a cuantificar daños ambientales, sino que exploran cómo las hidroeléctricas reconfiguran territorios y dinámicas socioecológicas.^(45,48,57) Este enfoque holístico es prometedor, pero requiere mayor articulación con procesos de toma de decisiones. Se considera que futuras investigaciones deberían profundizar en cómo traducir evidencia científica en instrumentos de política que equilibren demandas energéticas, conservación ambiental y justicia social, especialmente en contextos de crisis climática donde las soluciones requieren balances complejos entre mitigación y adaptación.

CONCLUSIONES

Este estudio evidencia que los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas constituyen un desafío multidimensional que requiere enfoques integrados de gestión. Los resultados destacan la necesidad de superar los análisis fragmentados y avanzar hacia evaluaciones holísticas que consideren simultáneamente los aspectos ecológicos, climáticos y sociales. Si bien se observan avances en la comprensión científica de estos impactos, persiste una brecha crítica entre el conocimiento generado y su aplicación en políticas y prácticas de desarrollo energético.

La investigación futura debería enfocarse en mejorar los marcos metodológicos para evaluaciones integrales, fortalecer los mecanismos de gobernanza que garanticen la sostenibilidad ambiental y la justicia social, y desarrollar tecnologías adaptativas que minimicen los impactos según contextos ecológicos específicos. Solo mediante este enfoque multidimensional será posible conciliar las demandas energéticas globales con la protección de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bayazit Y. The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey. *Renew Energy*. 2021;170:181-7. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2021.01.130>
2. González Vallejo R. La transversalidad del medioambiente: facetas y conceptos teóricos. *Región Científica*. 2023;2(2):202393. <https://doi.org/10.58763/rc202393>
3. Ge S, Gao Y, Yao X, Liu J. ¿Puede la energía de bombeo en minas subterráneas de carbón reducir las emisiones de carbono? *J Clean Prod*. 2020;255:120344. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120344>
4. Fan Y, Meng J, Ye H, Wang P, Wang Y, Wang Y. Sustainability and ecological efficiency of low-carbon power system: A concentrating solar power plant in China. *J Environ Manage*. 2021;290:112659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112659>
5. Yi Y, Liu Q, Zhang J, Zhang S. Cómo las variaciones en los flujos de agua y sedimentos hacia el estuario influyen en el ecosistema. *J Hydrol*. 2021;600:126523. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126523>
6. Eslava-Zapata R, Gómez-Cano C, Chacón-Guerrero E, Esteban-Montilla R. Análisis Bibliométrico sobre estilos de liderazgo: contribuciones y tendencia de la investigación. *Educ Soc*. 2023;15(6):574-87. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4175>
7. Li Y, Bu F, Gao J, Lia G. Optimal dispatch of low-carbon integrated energy system considering nuclear heating and carbon trading. *ArXiv*. 2022;abs/2209.12025. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134540>
8. Yuan-Sheng H, Mengshu S, Weiye W, Hongyu L. Modelo de planificación y optimización en dos etapas para un sistema energético integrado de agua e hidrógeno con red aislada. *J Clean Prod*. 2021;313:127889. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO>
9. Schulthoff M, Rudnick I, Bose A, Gençer E. El papel del hidrógeno en un sistema eléctrico con bajas emisiones de carbono: un estudio de caso. *Front Energy Res*. 2021;8. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.585461>
10. Zhang M, Yu S, Wang L, Wang X, Ding Q, Li W, et al. Day-ahead Low-carbon Dispatch Strategy for Power Systems Considering Pumped-storage Hydroelectric Participation in Active Power Regulations. 2023 IEEE Int Conf Energy Technol Future Grids (ETFG). 2023:1-6. <https://doi.org/10.1109/ETFG55873.2023.10407908>
11. Broadley A, Stewart-Koster B, Burford M, Brown C. Una revisión global del vínculo crítico entre los caudales fluviales y la productividad de la pesca marina. *Rev Fish Biol Fish*. 2022;32:805 <https://doi.org/10.1007/s11160-022-09711-0>

12. Higuera Carrillo EL. Aspectos clave en agroproyectos con enfoque comercial: Una aproximación desde las concepciones epistemológicas sobre el problema rural agrario en Colombia. *Región Científica*. 2022;1(1):20224. <https://doi.org/10.58763/rc20224>
13. Xie D, Schwarz C, Kleinhans M, Bryan K, Coco G, Hunt S, et al. Mangrove removal exacerbates estuarine infilling through landscape-scale bio-morphodynamic feedbacks. *Nat Commun*. 2023;14. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42733-1>
14. Roman-Acosta D, Caira-Tovar N, Rodríguez-Torres E, Pérez-Gamboa AJ. Estrategias efectivas de liderazgo y comunicación en contextos desfavorecidos en la era digital. *Salud Cienc Tecnol - Ser Conf*. 2023;2:532. <https://doi.org/10.56294/sctconf2023532>
15. Yu D, Bian X, Yang L, Zhou Y, An D, Zhou M, et al. Monitoring suspended sediment concentration in the Yellow River Estuary from 1984 to 2021 using landsat imagery and Google Earth Engine. *Int J Remote Sens*. 2023;44:3122-45. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2216849>
16. Sánchez-Castillo V, Gómez-Cano C, Alape-Chaguala R. Dinámica de las redes sociales institucionales rurales y su contribución al capital social en un colectivo de productores de THEOBROMA CACAO L. *FACE Rev Fac Cienc Econ Empres*. 2023;23(1). <https://doi.org/10.24054/face.v23i1.2475>
17. Majumdar J, Biswas J, Santra S, Ramanathan A, Tack F. Sedimentation of metals in Sundarban mangrove ecosystem: Dominant drivers and environmental risks. *Environ Geochem Health*. 2022;45:1555-72. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01277-x>
18. Sargento C, Falke J, Bellmore R, Bellmore J, Crumley R. <https://doi.org/10.1029/2019WR026127>
19. Mogrovejo Andrade JM. Estrategias resilientes y mecanismos de las organizaciones para mitigar los efectos ocasionados por la pandemia a nivel internacional. *Región Científica*. 2022;1(1):202211. <https://doi.org/10.58763/rc202211>
20. Casserly C, Turner J, O' Sullivan J, Bruen M, Bullock C, Atkinson S, et al. Efecto de las presas de baja altura en la dinámica de sedimentos suspendidos a escala de tramo en arroyos de lecho grueso. *J Environ*. 2020;277:111452. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111452>
21. Sánchez-Castillo V, García-Rojas R, Gómez-Cano C. Redes Sociales Rurales y Capital social: El caso de los paneleros de Bellavista. *Univ Soc*. 2023;14(5):383-93. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3991>
22. Chará-Serna A, Richardson J. Multiple-Stressor Interactions in Tributaries Alter Downstream Ecosystems in Stream Mesocosm Networks. *Water*. 2021;13:1194. <https://doi.org/10.3390/W13091194>
23. Ledesma F, Malave-González BE. Patrones de comunicación científica sobre E-commerce: un estudio bibliométrico en la base de datos Scopus. *Región Científica*. 2022;1(1):202214. <https://doi.org/10.58763/rc202214>
24. Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V, Clavijo-Gallego TA. Redes de conocimiento y colaboración internacional en torno al Generative Pre-trained Transformer (GPT): Un estudio bibliométrico. *Metaverse Basic Appl Res*. 2023;2:33. <https://doi.org/10.56294/mr202356>
25. Pérez-Guedes N, Arufe-Padrón A. Perspectivas de transición energética en América Latina en el escenario pospandémico. *Región Científica*. 2023;2(1):202334. <https://doi.org/10.58763/rc202334>
26. Gonzales-Tito YM, Quintanilla-López L, Pérez-Gamboa AJ. Metaverso y educación: un espacio complejo para la próxima revolución educativa. *Metaverso*. 2023;2:56. <https://doi.org/10.56294/mr202356>
27. Middelburg J. ¿Se retienen los nutrientes mediante la construcción de represas en los ríos? *Natl Sci Rev*. 2020;7:1 <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa073>
28. Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V. Revisión sistemática sobre Realidad Aumentada en educación para

la salud. Gamificación Realidad Aumentada. 2023;1;28. <https://doi.org/10.56294/gr202328>

29. Chardon V, Schmitt L, Arnaud F, Piégay H, Clutier A. Efficiency and sustainability of gravel augmentation to restore large regulated rivers: Insights from three experiments on the Rhine River (France/Germany). *Geomorphology.* 2021;380:107639. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2021.107639>

30. Williams P, Bhatia M, Burgess D, Waterman S, Roberts M, Bertrand E. Exportación de nutrientes y carbono desde un glaciar de marea hasta el océano costero en el archipiélago ártico canadiense. *J Geophys Res Biogeosci.* 2021;126. <https://doi.org/10.1029/2021JG006289>

31. Cattaneo F, Guillard J, Diouf S, O'Rourke J, Grimardias D. Mitigation of ecological impacts on fish of large reservoir sediment management through controlled flushing - The case of the Verbois dam (Rhône River, Switzerland). *Sci Total Environ.* 2020;755(Pt 1):142468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142468>

32. Chadwick A, Lamb M. Climate-Change Controls on River Delta Avulsion Location and Frequency. *J Geophys Res Earth Surf.* 2021;126. <https://doi.org/10.1029/2020JF005950>

33. De Heredia I, Garbisu C, Alkorta I, Urra J, González-Gaya B, Ruiz-Romera E. Spatio-seasonal patterns of the impact of wastewater treatment plant effluents on antibiotic resistance in river sediments. *Environ Pollut.* 2022;319:120883. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120883>

34. Molisani M, Machado A, Farias R, Souza M, Isacksson P, Esteves F. La influencia de la llanura costera en los flujos de materiales aguas abajo de una pequeña cuenca fluvial montañosa costera. 2020;27;33-43. <https://doi.org/10.1002/rra.3747>

35. Moreira AJ, Reis Fonseca RM. La inserción de los movimientos sociales en la protección del medio ambiente: cuerpos y aprendizajes en el Recôncavo da Bahia. *Región Científica.* 2024;3(1):2024208. <https://doi.org/10.58763/rc2024208>

36. Mirzakhani G, Ghanbari-Adivi E, Fattahi R. Sediment trapping efficiency in different coastal forest characteristics. *Arab J Geosci.* 2023;16. <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11622-8>

37. Billah M, Bhuiyan M, Islam M, Das J, Hoque A. Restauración de marismas: resumen de técnicas e indicadores de éxito. *Environ Sci Pollut Res.* 2022;29:15347-63. <https://doi.org/10.1007/s11356-021->

38. Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V. Evaluación del nivel de madurez en la gestión de proyectos de una empresa prestadora de servicios públicos. *Económicas CUC.* 2021;42(2):133-44. <https://doi.org/10.17981/econuc.42.2.2021.Org.7>

39. Thapa P, Daimaru H, Ichion E, Yanai S. Impactos del transporte de sedimentos aguas abajo del deslizamiento de tierra profundo de 2015 en el monte Hakusan, Japón. *Earth Surf Process Landf.* 2024;49:1273-88. <https://doi.org/10.1002/esp.5764>

40. Hoyos Chavarro YA, Melo Zamudio JC, Sánchez Castillo V. Sistematización de la experiencia de circuito corto de comercialización estudio de caso Tibasosa, Boyacá. *Región Científica.* 2022;1(1):20228. <https://doi.org/10.58763/rc20228>

41. Hillman J, Lundquist C, O'Meara T, Thrush S. La pérdida de grandes animales influye de forma diferencial en los flujos de nutrientes en un ecosistema marino intermareal heterogéneo de sedimentos blandos. *Ecosystems.* 2020;24:272-83. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00517-4>

42. González Ávila DIN, Garzón Salazar DP, Sánchez Castillo V. Cierre de las empresas del sector turismo en el municipio de Leticia: una caracterización de los factores implicados. *Región Científica.* 2023;2(1):202342. <https://doi.org/10.58763/rc202342>

43. Katano I, Negishi J, Minagawa T, Doi H, Kawaguchi Y, Kayaba Y. Efectos de la reposición de sedimentos en los ambientes del lecho fluvial y en los conjuntos de macroinvertebrados aguas abajo de una presa. *Sci Rep.* 2021;11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86278-z>

44. Eslava-Zapata R, Mogollón Calderón OZ, Chacón Guerrero E. Socialización organizacional en las universidades: estudio empírico. *Región Científica*. 2023;2(2):202369. <https://doi.org/10.58763/rc202369>
45. Guo Z, Chen M, Wei O, Lin C, He M. Fine particle contents in sediment drive silica transport and deposition to the estuary in the turbid river basin. *Water Res*. 2024;255:121464. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121464>
46. Rodríguez-Torres E, Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V. Sistemas de información gerencial y su impacto en la toma de decisiones empresariales. *Metadatos de datos*. 2022;1:21. <https://doi.org/10>
47. Golubkov M, Golubkov S. Impacto de la construcción de nuevas instalaciones portuarias en la producción primaria de plancton en el estuario del Nevá (mar Báltico). *Front Mar Sci*. 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.851043>
48. Guzmán DL, Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V. Construcción del Estado a partir de la participación Ciudadana. *Rev Acad Derecho*. 2022;14(25). <https://doi.org/10.18041/2215-8944/academia.25.10601>
49. Sueyoshi M, Miyagawa Y, Onoda Y, Hotta T, Kayaba Y, Nakamura K. Effects of repeated sediment bypassing on stream ecosystems in a Japanese mountainous river. *Restor Ecol*. 2023;32. <https://doi.org/10.1111/rec.14049>
50. 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>
51. Baratov R, Pirmatov N. Generador de baja velocidad con imanes permanentes y devanados adicionales en el rotor para pequeñas centrales eólicas y microcentrales hidroeléctricas. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2020;883: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012183>
52. Pérez-Gamboa AJ, Rodríguez-Torres E, Camejo-Pérez Y. Fundamentos de la atención psicopedagógica para la configuración del proyecto de vida en estudiantes universitarios. *Educ Soc*. 2023;21(2):67-89. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7979972>
53. Loken L, Sadro S, Lenocho L, Stumpner P, Dahlgren R, Burau J, et al. Whole-Ecosystem Experiment Illustrates Short Timescale Hydrodynamic, Light, and Nutrient Control of Primary Production in a Terminal Slough. *Estuaries Coasts*. 2022;45:2428-49. <https://doi.org/10.1007/s12237-022-01111-8>
54. Rodríguez-Torres E, Gómez-Cano C, Sánchez-Castillo V. Management information systems and their impact on business decision making. *Data Metadata*. 2022;1:21. <https://doi.org/10.56294/dm202221>
55. Bussi G, Darby S, Whitehead P, Jin L, Dadson S, Voepel H, et al. Impact of dams and climate change on suspended sediment flux to the Mekong delta. *Sci Total Environ*. 2020;755(Pt 1):142468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142468>
56. Borges Machín AY, González Bravo YL. Educación comunitaria para un envejecimiento activo: experiencia en construcción desde el autodesarrollo. *Región Científica*. 2022;1(1):202212. <https://doi.org/10.58763/rc202213>
57. Sun G, Zhao X, Gao H. Control óptimo de un sistema energético integrado considerando características bajas en carbono de la fuente y la carga. *Proc SPIE*. 2022;12257:122572C. <https://doi.org/10.1117/12.2640251>

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Juan Manuel Andrade Navia.

Curación de datos: Juan Manuel Andrade Navia.

Análisis formal: Juan Manuel Andrade Navia.

Investigación: Juan Manuel Andrade Navia.

Metodología: Juan Manuel Andrade Navia.

Software: Juan Manuel Andrade Navia.

Supervisión: Juan Manuel Andrade Navia.

Redacción - borrador original: Juan Manuel Andrade Navia.

Redacción - revisión y edición: Juan Manuel Andrade Navia.