

Tendencias y áreas emergentes en la investigación científica sobre hidroeléctricas: un análisis bibliométrico (2014-2023)

Trends and emerging areas in scientific research on hydroelectric power: a bibliometric analysis (2014-2023)

Artículo de revisión

Recibido: septiembre 01 de 2024
Aceptado: noviembre 08 de 2024
Publicado: febrero 15 de 2025

Cómo citar este artículo: Olaya-Marín, E. J., & Bolaños-Rodríguez, L. J. (2025). Tendencias y áreas emergentes en la investigación científica sobre hidroeléctricas: un análisis bibliométrico (2014-2023). *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 15 (1), 33-48.

doi: <https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v15.n1.2025.18820>

Esther Julia Olaya-Marín*

Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia
E-mail: es.olaya@udla.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5819-2477>

Lizeth Juliana Bolaños-Rodríguez

Huella Verde Consultoría Forestal SAS, Florencia, Colombia
E-mail: blizethjuliana@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-7075-8572>

Resumen

El objetivo del artículo es analizar las tendencias y áreas emergentes en la investigación científica sobre los impactos ambientales de las hidroeléctricas, mediante un análisis bibliométrico de la literatura publicada entre 2014 y 2023. Los resultados evidencian un notable incremento en la producción científica sobre hidroeléctricas a partir de 2020, con China y Estados Unidos como los países más productivos. Se destaca la centralidad de temas como el cambio climático y la sostenibilidad, con énfasis en los impactos acumulativos de las pequeñas hidroeléctricas, especialmente en la región amazónica. El mapa temático identifica la energía renovable y el desarrollo sostenible como áreas prioritarias para futuras investigaciones, mientras que la participación comunitaria y el aprendizaje automático surgen como campos prometedores que requieren mayor profundización. Lo anterior significa una mayor disponibilidad de datos y conocimientos para los formuladores de políticas y gestores ambientales, facilitando la implementación de estrategias de gestión más informadas y sostenibles.

Palabras clave: hidroeléctricas, energía renovable, percepción comunitaria, cambio climático.

Abstract

The objective of this article is to analyze the trends and emerging areas in scientific research on the environmental impacts of hydroelectric plants, through a bibliometric analysis of the literature published between 2014 and 2023. The results show a notable increase in scientific production on hydroelectric plants starting in 2020, with China and the United States as the most productive countries. The centrality of issues such as climate change and sustainability is highlighted, with emphasis on the cumulative impacts of small hydroelectric plants, especially in the Amazon region. The thematic map identifies renewable energy and sustainable development as priority areas for future research, while community engagement and machine learning emerge as promising fields requiring further exploration. The above means greater availability of data and knowledge for policymakers and environmental managers, facilitating the implementation of more informed and sustainable management strategies.

Keywords: hydroelectric plants, renewable energy, community perception, climate change.

1. Introducción

La construcción de hidroeléctricas ofrece múltiples beneficios, incluyendo bajo costo operativo, capacidad de almacenamiento de energía y creación de empleo en comunidades locales (Cesoniene et al., 2021; Huang et al., 2024). Además, las hidroeléctricas, tanto grandes como pequeñas, suelen ser más rentables que otras fuentes de energía renovable como la solar y la eólica (Ullah et al., 2024). No obstante, a pesar de estas ventajas, los proyectos hidroeléctricos también generan una serie de impactos ambientales y sociales significativos que no pueden ser ignorados (Carvalho & Araújo, 2024; Kuriqi et al., 2021).

Diversos estudios han documentado los efectos adversos de las hidroeléctricas sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres, destacando alteraciones en los regímenes de flujo, la fragmentación de hábitats y la pérdida de biodiversidad (Sun, 2023). Además, se han señalado consecuencias socioeconómicas, como el desplazamiento de comunidades y cambios en las actividades económicas locales (Alseny et al., 2023). Investigaciones recientes han empleado métodos avanzados para evaluar los cambios en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en áreas afectadas por estos proyectos (Zhu et al., 2023). En particular, las pequeñas hidroeléctricas han sido objeto de creciente interés debido a sus impactos acumulativos, especialmente en regiones ecológicamente sensibles como la Amazonia.

La evaluación de los impactos ambientales de las hidroeléctricas, incluidas las pequeñas centrales hidroeléctricas, ha sido un foco importante de la investigación reciente (Huang et al., 2024; Luo et al., 2024), destacando la necesidad de una planificación integrada

y sostenible (Moldoveanu et al., 2023). Sin embargo, hay una brecha en la literatura en cuanto a la sistematización de tendencias y la identificación de áreas emergentes, lo que limita la capacidad de investigadores y formuladores de políticas para anticipar desarrollos futuros.

El objetivo de este artículo es analizar las tendencias y áreas emergentes en la investigación científica sobre los impactos ambientales de las hidroeléctricas, tanto de gran como de pequeña escala, mediante un análisis bibliométrico de la literatura publicada entre 2014 y 2023.

2. Metodología

Para llevar a cabo este estudio, se utilizó la base de datos Scopus debido a su amplio alcance y rigurosa indexación de literatura científica de alta calidad. Scopus es reconocida por su cobertura exhaustiva de revistas científicas revisadas por pares y proporciona herramientas avanzadas para análisis bibliométricos, lo que la convierte en una fuente adecuada para este tipo de estudios.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo utilizando la siguiente ecuación de búsqueda: (perception OR attitudes) AND (hydroelectric OR hydropower) AND (impact OR effects) AND (rivers OR watercourses). Esta ecuación fue diseñada cuidadosamente para capturar artículos que aborden los impactos ambientales y socioeconómicos de las hidroeléctricas, asegurando así una cobertura integral de la literatura relevante.

En cuanto a los criterios de inclusión y exclusión, se tienen los siguientes:

Inclusión: Se incluyeron artículos publicados entre 2014 y 2023 en inglés, que aborden los impactos ambientales y socioeconómicos de las hidroeléctricas, tanto grandes como pequeñas.

Exclusión: Se excluyeron artículos provenientes de ponencias y libros con el objetivo de centrarse únicamente en artículos científicos.

La búsqueda inicial arrojó un total de 1084 artículos. Se llevó a cabo una revisión preliminar basada en los títulos y resúmenes de los artículos, excluyendo aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión. Como resultado de esta revisión, se seleccionaron 672 artículos para el análisis final. Este proceso de selección fue riguroso y sistemático para garantizar la relevancia y calidad de los estudios incluidos.

Para el análisis bibliométrico avanzado, se utilizó el software Bibliometrix y su interfaz web Biblioshiny, así como VOSviewer. Estas herramientas son ampliamente reconocidas en la comunidad científica por sus capacidades en análisis bibliométricos y visualización de datos.

En cuanto a los indicadores Bibliométricos, se consideraron los siguientes:

Producción Científica Anual: Evaluación del número de publicaciones por año, lo cual permite identificar tendencias en la cantidad de investigaciones publicadas a lo largo del tiempo.

Análisis de Co-ocurrencia de Palabras Clave: Identificación de términos clave frecuentemente utilizados en los artículos, lo que ayuda a reconocer los temas más investigados y las conexiones entre diferentes conceptos.

Mapa de Acoplamiento Bibliográfico de Artículos: Visualización de las relaciones entre artículos basadas en las referencias que comparten, permitiendo identificar grupos de trabajos que están estrechamente relacionados y las áreas de investigación más influyentes.

Análisis de Colaboración entre Países: Visualización de las colaboraciones internacionales en la investigación, destacando las redes de cooperación entre diferentes naciones y proporcionando una visión global de las alianzas de investigación.

Estos métodos permitieron una evaluación profunda de la literatura científica sobre los impactos ambientales de las hidroeléctricas, identificando patrones de investigación y áreas que requieren mayor atención. La utilización de herramientas avanzadas como Bibliometrix y VOSviewer aseguró la precisión y profundidad del análisis.

3. Resultados y discusión

3.1 Producción científica anual y revistas más significativas

A partir de 2020, se evidencia un incremento significativo en la producción científica sobre hidroeléctricas (Figura 1). Este aumento concuerda con estudios previos que señalan un crecimiento en la investigación ambiental, debido a una mayor conciencia sobre el cambio climático y los impactos ecológicos de las grandes infraestructuras (Mayer et al., 2022). El incremento refleja una consolidación del campo de estudio, evidenciando que los impactos ambientales de las hidroeléctricas son una preocupación creciente en la litera-

tura científica, lo cual coincide con estudios previos (Huang et al., 2024; Luo et al., 2024). Este aumento en publicaciones puede traducirse en una mayor disponibilidad de datos

y conocimientos para los formuladores de políticas y gestores ambientales, facilitando la implementación de estrategias de gestión más informadas y sostenibles.

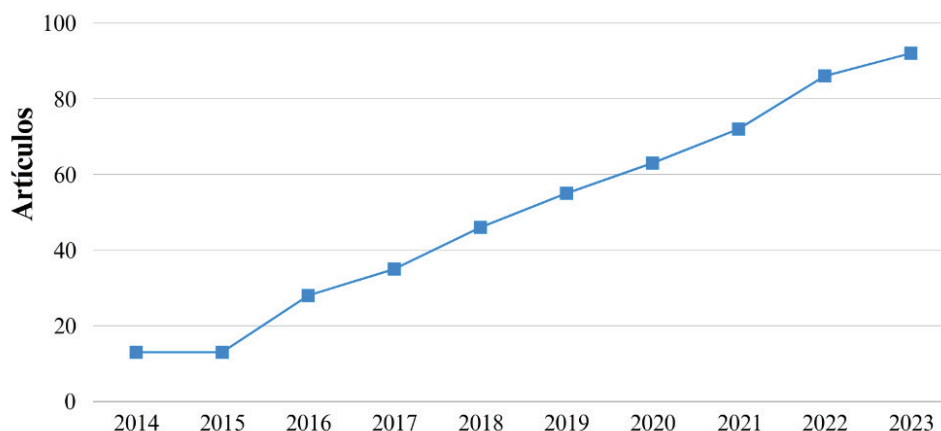


Figura 1. Producción Científica Anual sobre los Impactos Ambientales de las Hidroeléctricas entre 2014 y 2023.

La tabla 1 destaca las revistas científicas más influyentes en el campo de las publicaciones sobre hidroeléctricas, todas clasificadas en el cuartil superior (Q1) de sus respectivas áreas

de conocimiento. Esta clasificación refleja su posición dentro del 25% más alto en términos de calidad e impacto en la investigación científica.

Tabla 1. Revistas Científicas Más Relevantes en Publicaciones sobre Hidroeléctricas.

Revista Científica	País	Documentos Totales (3 años) *	Citas Totales (3 años)	SJR**	Cuartil
Water (switzerland)	Switzerland	11323	40674	0,724	Q1
Journal of hydrology	Netherlands	1548	27949	1,764	Q1
Science of the total environment	Netherlands	8428	228353	1,998	Q1
Sustainability (switzerland)	Switzerland	14679	41651	0,672	Q1
Journal of cleaner production	United Kingdom	4422	180112	2,058	Q1
Journal of environmental management	United States	2776	57527	1,771	Q1
Ecological indicators	Netherlands	1532	29765	1,633	Q1
Journal of water resources planning and management	United States	117	1468	0,814	Q1
Water resources management	Switzerland	197	998	0,458	Q1
Water resources research	United States	568	10464	1,574	Q1

* Documentos Totales (3 años): Publicaciones correspondientes a 2021, 2022 y 2023.

** SJR: SCImago Journal Rank.

Revistas como *Water* (Switzerland), *Journal of Hydrology*, y *Science of the Total Environment*, sobresalen por su enfoque especializado en estudios ambientales y de recursos hídricos. Estas publicaciones no solo ofrecen un espacio crucial para la difusión de investigaciones innovadoras y de alta calidad, sino que también establecen los estándares metodológicos y temáticos que orientan el desarrollo de la disciplina.

El elevado número de citas y el alto valor del SJR (SCImago Journal Rank) de estas revistas destacan su relevancia y prestigio en el campo, consolidándolas como plataformas clave para los investigadores que buscan visibilidad y reconocimiento en sus trabajos. La frecuente elección de estas revistas para la publicación de estudios sobre hidroeléctricas refuerza su autoridad en el área y su capacidad para influir en la dirección futura de la investigación.

3.2 Análisis de Co-ocurrencia de Palabras Clave

La figura 2 resalta varios clústeres temáticos y su evolución temporal, proporcionando información valiosa sobre las tendencias de investigación y las interconexiones entre diferentes temas. El término "climate change" es el más destacado y central en la red, lo que indica que el cambio climático es un tema primordial en la investigación sobre hidroeléctricas. La centralidad de este término y su interrelación con otras palabras clave como "sustainability", "risk assessment" y "ecosystem services" resalta la importancia de abordar estos proyectos en el contexto más amplio del cambio climático y la sostenibilidad global (Huang et al., 2024).

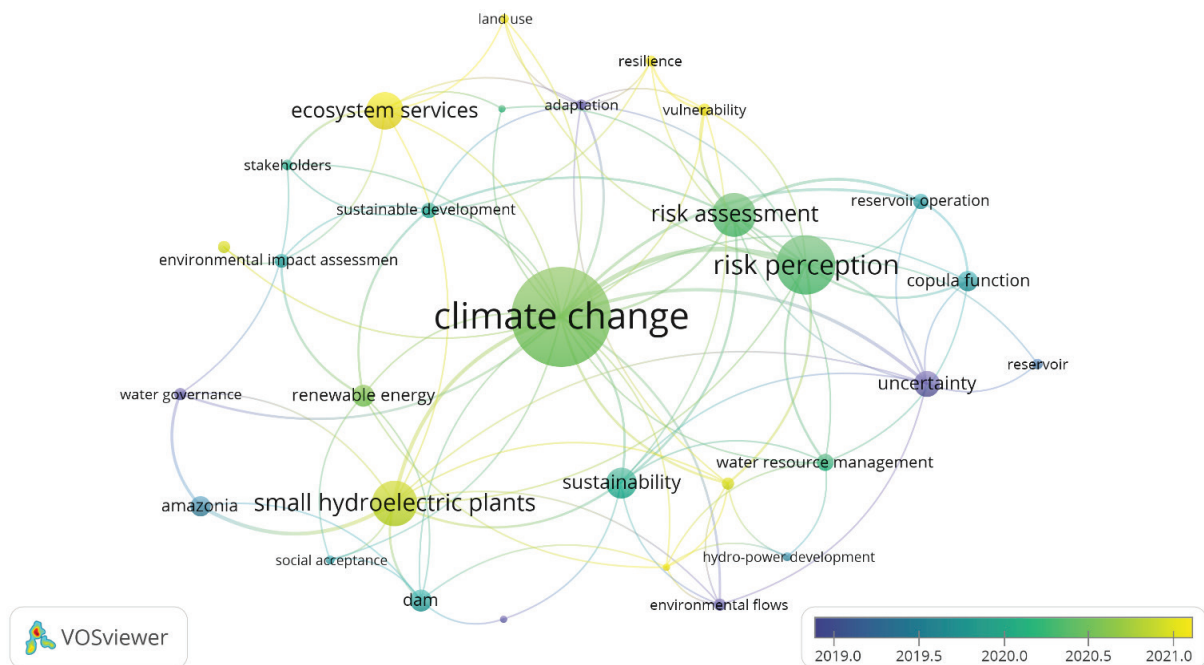


Figura 2. Análisis de Co-ocurrencia de Palabras Clave en Estudios sobre Hidroeléctricas.

Entre los impactos más relevantes de las hidroeléctricas se encuentran la fragmentación de hábitats, la alteración de regímenes de caudales y la pérdida de biodiversidad (Olaya-Marín et al., 2022; Zhu et al., 2023). Estos efectos negativos resaltan la urgencia de políticas más estrictas y de un enfoque de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Sin embargo, abordar estos desafíos requiere no solo considerar los beneficios energéticos, sino también integrar los costos ecológicos y sociales a largo plazo en los procesos de toma de decisiones.

En línea con este enfoque, la relevancia de los términos “risk assessment” y “risk perception” en la red temática, refleja la importancia de evaluar y gestionar de manera adecuada los riesgos asociados con las hidroeléctricas. Freitas et al. (2022) destacan que, aunque la adopción de nuevas tecnologías puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad de estos proyectos, es fundamental realizar evaluaciones críticas para evitar subestimar sus impactos ambientales y sociales.

Por otro lado, las conexiones entre “ecosystem services” y “sustainability” están fuertemente conectados con “climate change”, lo que indica un enfoque en cómo las hidroeléctricas afectan y dependen de los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad ambiental. La presencia de “small hydroelectric plants” en la figura resalta el interés significativo en las Pequeñas Centrales Hidroeléctrica (PCH), destacando la importancia de estas infraestructuras en la investigación sobre los impactos ambientales. Luo et al. (2024), enfatizan que los impactos acumulativos de las PCH han sido históricamente subestimados en los procesos de planificación y en la formulación de políticas, lo que ha facilitado una expansión rápida y, a menudo, descontrolada de estas infraestructuras. Este análisis

resalta la urgencia de implementar marcos regulatorios más robustos y específicos que puedan abordar de manera efectiva los efectos ecológicos a largo plazo de las PCH, considerando su influencia significativa en la fragmentación de los ríos y en la biodiversidad acuática, especialmente en áreas de alta biodiversidad.

El gradiente temporal, representado por la barra de colores en la parte inferior de la Figura 2, muestra cómo la relevancia de ciertos términos ha evolucionado con el tiempo. Por ejemplo: términos como “climate change” han mantenido una importancia constante, destacando su influencia sostenida en la investigación sobre hidroeléctricas. De manera similar, “risk assessment” y “risk perception” reflejan preocupaciones continuas sobre la gestión de riesgos en estos proyectos.

La conexión emergente de “small hydroelectric plants” y “Amazonia” con otros términos clave indica un aumento reciente en la investigación enfocada en estas áreas. La presencia de “Amazonia” en la figura indica un enfoque particular en esta región, lo cual es crucial dada su importancia ecológica y la intensidad de los desarrollos hidroeléctricos (Nickerson et al., 2022). Freitas et al. (2022) destacan la falta de regulación y gestión adecuada para las pequeñas represas en la cuenca del Amazonas en Brasil, en contraste con las grandes represas que cuentan con marcos regulatorios y estudios de impacto ambiental. Estas estructuras menores a menudo se construyen sin cumplir con los estándares técnicos, lo que resulta en frecuentes fallas estructurales.

Según Nava et al. (2021), los incidentes con pequeñas represas en Brasil, como las 129 rupturas en el noreste entre 1887 y 1906 y los 35 accidentes en Ceará entre 1917 y

2001, destacan la urgente necesidad de una regulación adecuada. Los incidentes en Pará, como las rupturas en Altamira y Paragominas en 2009 y 2018, han causado inundaciones significativas. Esto resalta la relevancia de formular políticas regulatorias y estudios científicos específicos para mitigar riesgos y prevenir desastres.

Asimismo, el término “renewable energy” ha ganado importancia, reflejando el interés en cómo las hidroeléctricas, especialmente las pequeñas, pueden contribuir a la matriz de energía renovable y los desafíos relacionados con su integración sostenible (Flecker et al., 2022). En Colombia, las PCH han sido incluidas en el Plan Nacional de Desarrollo mediante la Ley 2294 del 2023, clasificándolas como tales si operan a filo de agua y tienen una capacidad menor a 50 MW. Anteriormente, solo se consideraban pequeñas aquellas con capacidad menor a 10 MW. Este cambio facilita exenciones tributarias y financiamiento público para su construcción y operación, promoviendo

la transición hacia energías renovables. Sin embargo, estos incentivos pueden fomentar el desarrollo de PCH en Colombia, incluso sin requerir licencia ambiental para proyectos menores a 10 MW. La capacidad limitada de las autoridades ambientales en la región aumenta el riesgo de evaluaciones ambientales inadecuadas, resultando en impactos negativos acumulativos.

3.3 Mapa de Acoplamiento Bibliográfico de Artículos

El mapa de acoplamiento bibliográfico (Figura 3), generado mediante VOSviewer, ofrece una representación detallada de las interconexiones entre los artículos sobre hidroeléctricas a través de referencias compartidas. Este análisis es clave para identificar tendencias y vacíos en la literatura científica, permitiendo explorar estrategias de gestión sostenible que equilibren el desarrollo hidroeléctrico con la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales.

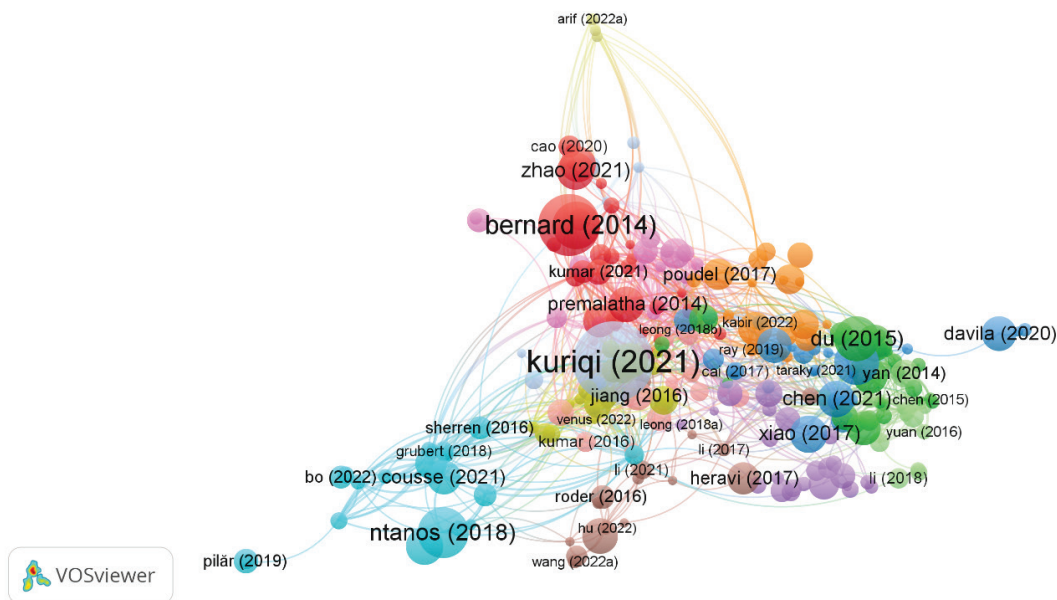


Figura 3. Mapa de Acoplamiento Bibliográfico de Artículos sobre Hidroeléctricas.

La figura 3 muestra una clara segmentación en diferentes clústeres temáticos, representados por distintos colores. Cada clúster agrupa artículos que están estrechamente relacionados en términos de referencias compartidas, lo que sugiere que tratan temas específicos o utilizan enfoques metodológicos similares. Por ejemplo, el clúster rojo, que incluye artículos como Bernard (2014), Premalatha (2014) y Zhao (2021), se centran en temas específicos dentro del campo, relacionados con estudios de caso sobre los impactos ambientales de las hidroeléctricas y la evaluación crítica de su eco-amigabilidad.

El artículo de Bernard (2014), titulado “Downgrading, Downsizing, Degazettement, and Reclassification of Protected Areas in Brazil”, se centra en la reconfiguración de áreas protegidas en Brasil, lo cual impacta directamente en la conservación y el manejo ambiental, temas estrechamente relacionados con los impactos de las hidroeléctricas. Este trabajo se destaca por ser uno de los nodos más prominentes en el clúster rojo, indicando su influencia significativa en la literatura que evalúa la reconfiguración y el manejo de áreas protegidas en el contexto de desarrollos hidroeléctricos.

Premalatha (2014), con su artículo “A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations”, ofrece una evaluación crítica de la supuesta eco-amigabilidad de las pequeñas instalaciones hidroeléctricas. Este artículo es crucial ya que proporciona un análisis detallado de los beneficios y desventajas ambientales de las pequeñas hidroeléctricas, un tema que es de gran relevancia para las percepciones comunitarias sobre el impacto ambiental de estos proyectos. Su posición prominente en el clúster rojo, destaca la importancia de cuestionar

y evaluar las suposiciones sobre la sostenibilidad ambiental de las infraestructuras hidroeléctricas.

Por otro lado, Zhao (2021), en “Riverine transport and water-sediment exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) along the middle-lower Yangtze River, China”, investiga el transporte y el intercambio de contaminantes en el agua y el sedimento a lo largo del río Yangtsé. Este trabajo es significativo porque aborda directamente los impactos ambientales de los contaminantes relacionados con las hidroeléctricas, aportando datos empíricos sobre la contaminación y su movilidad en sistemas fluviales, temas que son cruciales para entender los efectos a largo plazo de las hidroeléctricas en los ecosistemas acuáticos.

El artículo de Kuriqi et al. (2021), titulado “Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition”, destaca como uno de los nodos más grandes y centrales en el mapa, lo que indica que es uno de los trabajos más citados y, por lo tanto, influyente en varios clústeres. Este artículo proporciona un análisis riguroso de los impactos ecológicos de las plantas hidroeléctricas de flujo continuo, evaluando la situación actual y las posibles perspectivas futuras en el contexto de la transición energética. Su centralidad en el mapa sugiere que ha tenido un impacto significativo en la literatura, posiblemente proporcionando un marco teórico o datos empíricos cruciales que otros estudios han utilizado como referencia.

Otro aspecto notable del análisis es la cantidad de líneas que conectan los nodos, indicando numerosas referencias compartidas entre los artículos. Las líneas más gruesas representan una fuerte relación entre ciertos

artículos, sugiriendo que comparten un número considerable de referencias. Esto puede indicar colaboraciones frecuentes entre ciertos autores o la existencia de un grupo de trabajos que están construyendo sobre una base teórica común. Esta interconexión también refleja la riqueza y la complejidad del campo de estudio, mostrando que los investigadores están integrando diversas fuentes de información para abordar los efectos medioambientales causados por los proyectos hidroeléctricos.

3.4 Mapa temático de palabras clave

La figura 4 es un mapa temático que ilustra la distribución de diversos temas relacionados con los impactos ambientales de las hidroeléctricas, según dos dimensiones: el grado de desarrollo (densidad) y el grado de relevancia (centralidad).

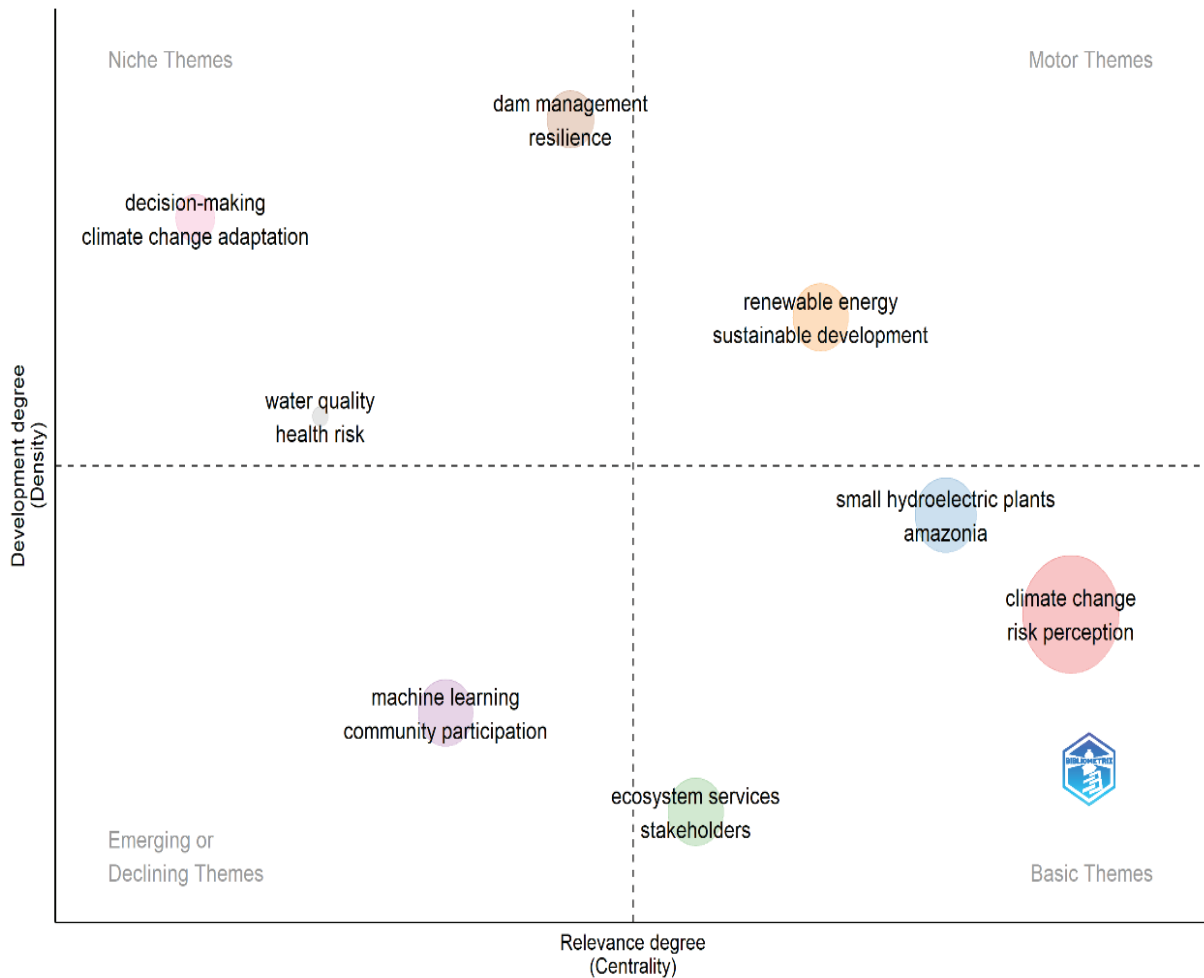


Figura 4. Mapa Temático de la Literatura Científica sobre Impactos Ambientales de Hidroeléctricas.

En el cuadrante superior derecho, correspondiente a los “Temas Motores”, se encuentran “renewable energy” y “sustainable development”. Estos temas son tanto centrales como bien desarrollados, lo que sugiere que constituyen el núcleo de las investigaciones actuales y son fundamentales para avanzar en el conocimiento científico en este ámbito. La relevancia de estos temas indica una tendencia fuerte en la literatura reciente hacia la priorización de investigaciones que buscan integrar las hidroeléctricas dentro de un marco de desarrollo sostenible y energías renovables. Esto concuerda con la investigación de Huang et al. (2024), que destacan la importancia de las energías renovables en la mitigación del cambio climático.

En el cuadrante inferior derecho, etiquetado como “Temas Básicos”, se encuentran “small hydroelectric plants”, “Amazonia”, “climate change”, y “risk perception”. Estos temas tienen una alta relevancia, pero un menor desarrollo. Esto sugiere que, aunque son fundamentales para el campo de estudio, necesitan una mayor profundización y estudios más detallados.

La inclusión de “small hydroelectric plants” y “Amazonia” enfatiza la importancia específica de la región amazónica y las pequeñas hidroeléctricas en la literatura actual, mientras que “climate change” y “risk perception” indican áreas críticas que aún requieren un enfoque más profundo para comprender completamente sus impactos y la percepción del riesgo por parte de las comunidades afectadas. Estudios previos, como el de Nickerson et al. (2022), evidencian la falta de regulación adecuada y los impactos acumulativos de las pequeñas hidroeléctricas en la Amazonia Brasileña, destacando la necesidad de investigaciones más detalladas en estas áreas. Por ejemplo, en Brasil, las centrales hidroeléctricas

de menor escala, con una capacidad inferior a 10 MW, únicamente requieren un Informe Ambiental Simplificado en lugar de una evaluación de impacto ambiental (EIA) completa (Nickerson et al., 2022).

En el cuadrante superior izquierdo, los “Temas de Nicho” como “dam management” y “resilience” son áreas con un alto grado de desarrollo, pero menor centralidad, lo que implica que son temas especializados. Aunque bien estudiados, no están en el núcleo principal de la investigación actual. La gestión de presas y la resiliencia son cruciales para la implementación de estrategias de gestión sostenible, pero su menor centralidad sugiere que podrían beneficiarse de una mayor integración en el enfoque principal de la investigación sobre hidroeléctricas. Esto está en línea con los hallazgos de Niță et al. (2023), quienes destacan la necesidad de mejorar la gestión de presas y la resiliencia en el contexto de la sostenibilidad ambiental. Además, recalcan que los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental para pequeñas hidroeléctricas a menudo no consideran adecuadamente los impactos acumulativos y las alteraciones de los hábitats. Esto representa un desafío para el manejo sostenible de los ecosistemas acuáticos y la protección de la biodiversidad, especialmente en regiones con alta diversidad acuática.

En el cuadrante inferior izquierdo, “machine learning” y “community participation” presentan una baja densidad y centralidad, sugiriendo que estos son temas emergentes en etapas tempranas de desarrollo. La participación comunitaria es crucial para la administración sostenible de los proyectos hidroeléctricos, por lo que su posición como tema emergente resalta la necesidad de fomentar investigaciones que integren más activamente las perspectivas y conocimientos

de las comunidades locales (Qurani & Adnan, 2023). Este hallazgo es consistente con estudios recientes que destacan la importancia de involucrar a las comunidades locales en la planificación y gestión de proyectos hidroeléctricos para garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Jean Claude, 2022).

3.5 Análisis de mapa de colaboración entre países

La Figura 5 muestra las colaboraciones internacionales en investigaciones científicas relacionadas con hidroeléctricas. Los vínculos entre los países se representan mediante líneas, y la intensidad de estos vínculos se refleja en el grosor y la densidad de las líneas conectivas.

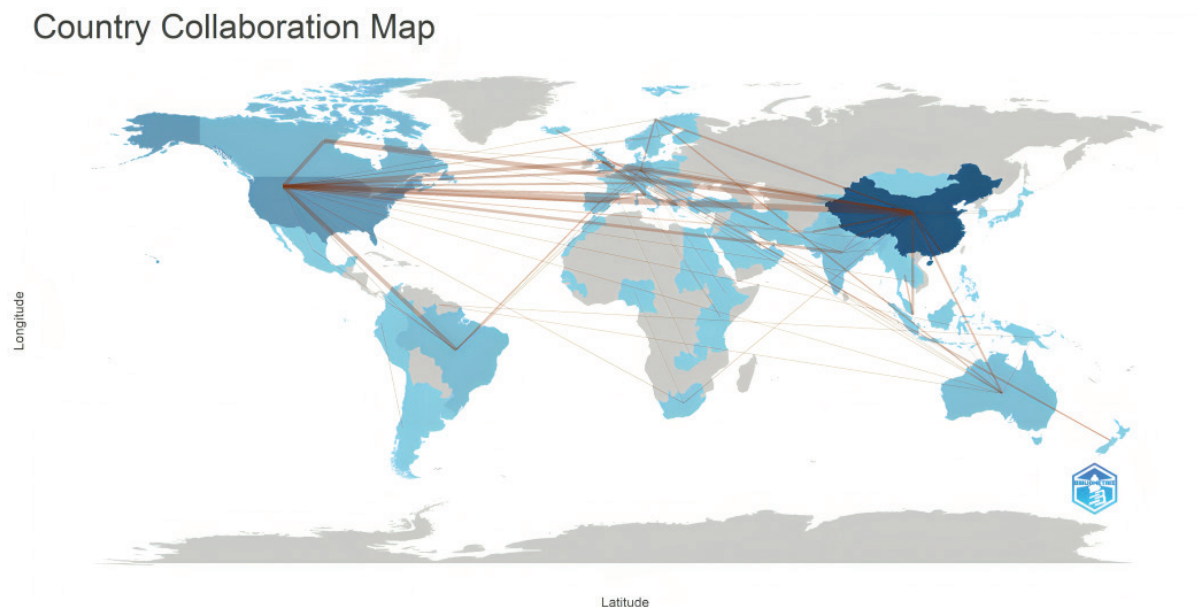


Figura 5. Mapa de Colaboración Internacional en la Investigación sobre Impactos Ambientales de Hidroeléctricas.

China se destaca como el país con el mayor número de colaboraciones internacionales, evidenciado por la alta densidad de líneas que conectan este país con otros en el mapa. Esto resalta su papel central en la investigación sobre hidroeléctricas, colaborando ampliamente con diversas naciones. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos (Zhou et al., 2020), que posicionan a China como un líder global en investigación y desarrollo de tecnologías hidroeléctricas.

Estados Unidos también muestra un alto grado de colaboración internacional, con

múltiples conexiones a países de Europa, Asia y América Latina. Esto destaca la posición de Estados Unidos como un importante colaborador en la investigación global sobre hidroeléctricas. En Europa, se observan numerosos vínculos entre países, lo que indica una robusta red de colaboración interna dentro del continente.

En América Latina, Brasil muestra conexiones significativas con otros países, tanto dentro como fuera de la región. Esto refleja la importancia de Brasil en la investigación sobre hidroeléctricas, debido a su vasto potencial

hidroeléctrico y los impactos ambientales asociados (Luo et al., 2024).

El mapa también muestra conexiones de colaboración en otras regiones del mundo, aunque con menor intensidad, lo que indica que la investigación sobre hidroeléctricas es un tema de interés global. Sin embargo, destaca la presencia de ciertos centros de investigación más prominentes. Esto sugiere que, aunque el interés en áreas como los impactos acumulativos de las pequeñas hidroeléctricas es creciente (Huang et al., 2024; Jean Claude, 2022), los esfuerzos de investigación están concentrados en unos pocos países con capacidades avanzadas y redes de colaboración bien establecidas.

4. Conclusiones

Este estudio evidencia un notable incremento en la producción científica sobre hidroeléctricas a partir de 2020, lo que refleja un creciente interés global por abordar los desafíos asociados con estas infraestructuras. A través del análisis bibliométrico, se identificaron tendencias clave y áreas emergentes, destacándose las revistas de alto impacto (Q1) como canales fundamentales para la diseminación de investigaciones en este campo.

Los análisis de co-ocurrencia de palabras clave resaltan la centralidad de temas como el cambio climático y la sostenibilidad, con un énfasis particular en los impactos acumulativos de las pequeñas hidroeléctricas, especialmente en regiones sensibles como la Amazonia. El mapa temático identifica la energía renovable y el desarrollo sostenible como áreas prioritarias para futuras inves-

tigaciones, mientras que la participación comunitaria y el aprendizaje automático surgen como campos prometedores que requieren una mayor profundización.

Las colaboraciones internacionales, lideradas por países como China y Estados Unidos, han desempeñado un papel fundamental en el avance de la investigación, facilitando el intercambio de conocimientos y tecnologías clave. Estas alianzas son esenciales para enfrentar los retos globales relacionados con el desarrollo hidroeléctrico y para apoyar una transición energética más sostenible.

Es crucial que las políticas de gestión de hidroeléctricas incorporen evaluaciones ambientales rigurosas y marcos regulatorios sólidos. Asimismo, la participación activa de las comunidades locales debe ser un componente central para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estos proyectos, maximizando sus beneficios sociales y ecológicos. Futuros estudios deberían enfocarse en explorar con mayor detalle los impactos acumulativos y las percepciones comunitarias, además de fortalecer las colaboraciones internacionales, contribuyendo así a una transición energética global más equitativa y sostenible.

Contribución de los autores

Esther Julia Olaya-Marín: Conceptualización, Análisis formal, Adquisición de fondos, Metodología, Redacción – revisión y edición.

Lizeth Juliana Bolaños-Rodríguez: Curación de datos y Software.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas por declarar en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación

Artículo derivado del proyecto de investigación: "Turismo de naturaleza y conflictos socio-ambientales por la construcción de hidroeléctricas en la Amazonia colombiana: caso de estudio departamento del Caquetá", financiado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, a través del Programa Orquídeas, Mujeres en la Ciencia: Agentes para la Paz, 2023. Código del Proyecto: 102325 CT 209-2023.

Conflictos de interés

No existen conflictos de interés de parte de los autores en la escritura o publicación de este artículo.

5. Referencias

Alseny, C., Diallo, M. L., Bayo, I., & L Keita, M. (2023). Impact of Climate Change in the Area Where the Kaleta Hydroelectric Power Plant is Implemented. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(10). <https://doi.org/10.21275/sr231015092301>

Bernard, E., Penna, L. A. O., & Araújo, E. (2014). Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil. *Conservation Biology*, 28(4). <https://doi.org/10.1111/cobi.12298>

Carvalho, D. R., & Araújo, F. G. (2024). Heterogenisation of riverine ichthyofauna diversity by small hydropower dams. *Ecology of Freshwater Fish*, 33(3). <https://doi.org/10.1111/eff.12775>

Cesoniene, L., Dapkiene, M., & Punys, P. (2021). Assessment of the impact of small hydropower plants on the ecological status indicators of water bodies: A case study in Lithuania. *Water (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/w13040433>

Flecker, A., Shi, Q., Almeida, R., Angarita, H., Gomes Selman, J., Garcia-Villacorta, R., Sethi, S., Thomas, S., Poff, N., Forsberg, B., Heilpern, S., Hamilton, S., Abad, J., Anderson, E., Barros, N., Bernal, I., Bernstein, R., Cañas, C., Dangles, O., & Gomes, C. (2022). Reducing adverse impacts of Amazon hydropower expansion. *Science*, 375, 753–760. <https://doi.org/10.1126/science.abj4017>

Freitas, C. E., de Almeida Mereles, M., Pereira, D. V., Siqueira-Souza, F., Hurd, L., Kahn, J., Morais, G., & Sousa, R. G. C. (2022). Death by a thousand cuts: Small local dams can produce large regional impacts in the Brazilian Legal Amazon. *Environmental Science and Policy*, 136, 447–452. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.013>

Huang, J., Guo, F., Burford, M. A., Kainz, M., Li, F., Gao, W., Ouyang, X., & Zhang, Y. (2024). How do small dams alter river food webs? A food quality perspective along the aquatic food web continuum. *Journal of Environmental Management*, 355. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120501>

Jean Claude, Dr. M. (2022). Assessment of Effect of Hydropower Plant Projects on Socio-Environmental Sustenance and Development in Rwanda: A Review Done At Rubagabaga Hydropower Ltd. *International Journal of Scientific Research and Management*, 10(01). <https://doi.org/10.18535/ijstrm/v10i1.em7>

Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M. D., & Garrote, L. (2021). Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of en-

- ergy transition. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 142). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110833>
- Luo, Q., Li, S., Kinouchi, T., Wu, N., Fu, X., Ling, C., Cai, Q., Chiu, M.-C., & Resh, V. H. (2024). Existing levels of biodiversity and river location may determine changes from small hydropower developments. *Journal of Environmental Management*, *357*, 120697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120697>
- Mayer, A., Lopez, M. C., Leturcq, G., & Moran, E. (2022). Changes in Social Capital Associated with the Construction of the Belo Monte Dam: Comparing a Resettled and a Host Community. *Human Organization*, *81*(1). <https://doi.org/10.17730/1938-3525-81.1.22>
- Moldoveanu, M., Stănescu, S. V., & Gălie, A. C. (2023). Post-Construction, Hydromorphological Cumulative Impact Assessment: An Approach at the Waterbody Level Integrating Different Spatial Scales. *Water (Switzerland)*, *15*(3). <https://doi.org/10.3390/w15030382>
- Nava, F. R., Ishihara, J. H., Ravena, N., & Vilhena, K. do S. de S. (2021). Lack of knowledge or neglect? The contributions of science to mitigating the risks of small Brazilian dams. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *60*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102269>
- Nickerson, S., Chen, G., Fearnside, P. M., Allan, C. J., Hu, T., de Carvalho, L. M. T., & Zhao, K. (2022). Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, *17*(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236>
- Niță, M. R., Mitincu, C. G., & Nita, A. (2023). A river runs through it? Exploring the contestation of Environmental Impact Assessment procedures for small hydropower projects. *Energy Research and Social Science*, *96*. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102943>
- Olaya-Marín, E. J., Lemus-Portillo, C., Echavarría-Pedraza, M.-C., Chaparro-García, O.-A., Roa-Fuentes, C.-A., Salazar-Galán, S., Barrios-Peña, M., Olaya-Marín, E.-J., Lemus-Portillo, C., Echavarría-Pedraza, M.-C., Chaparro-García, O.-A., Roa-Fuentes, C.-A., Salazar-Galán, S., & Barrios-Peña, M. (2022). Diferencias en el tamaño corporal y la abundancia de peces altoandinos, arriba y abajo de la represa Neusa, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, *70*(1), 464–481. <https://doi.org/10.15517/REV.BIOL.TROP.2022.49776>
- Premalatha, M., Tabassum-Abbasi, Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2014). A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations. *Science of the Total Environment*, *481*(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.047>
- Qurani, A., & Adnan, R. (2023). The Role of Local Community and The Barriers to Participation in A Mini Hydro Energy Project in Indonesia. *Indonesian Journal of Social Research (IJSR)*, *5*(2). <https://doi.org/10.30997/ijsr.v5i2.300>
- Sun, S. (2023). Development of Hydropower and the Environmental Impacts of Hydroelectric Dam Construction in China. *E3S Web of Conferences*, *393*. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202339301032>
- Ullah, A., Altay Topcu, B., Dogan, M., & Imran, M. (2024). Exploring the nexus among hydroelectric power generation, financial development, and economic growth: Evidence from the largest 10 hydroelectric power-generating countries. *Energy Strategy Reviews*, *52*. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101339>
- Zhao, Z., Gong, X., Zhang, L., Jin, M., Cai, Y., & Wang, X. (2021). Riverine transport and water-sediment exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) along the middle-lower Yangtze River, China. *Journal of Hazardous Materials*, *403*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123973>
- Zhou, Y., Miao, Z., & Urban, F. (2020). China's leadership in the hydropower sector: identifying green windows of opportunity for technological

catch-up. *Industrial and Corporate Change*, 29(5), 1319–1343. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa039>

Zhu, D., Yang, Z., Chen, X., Jin, Y., & Li, D. (2023). Development of a biotic integrity index based on long-term fish assemblage changes after dam construction in China. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1103801>