

Análisis bibliométrico de medio ambiente en minería

Bibliometric analysis of the environment in mining

Marco Antonio Cotrina-Teatino ^{1,*} ; Adali Salvatierra-Navarro ¹ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: mcotrinat@unitru.edu.pe (M. Cotrina)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2023.04.03](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2023.04.03)

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico profundo y detallado sobre la interrelación entre "Minería" y "Medio ambiente". De un total inicial de 56,329 documentos en Scopus, la investigación se centró en temáticas específicas relacionadas con la ingeniería, culminando en 3,742 documentos de relevancia. Mediante el uso de las herramientas avanzadas VOSviewer y Bibliometrix, se construyó un mapa de conocimiento ilustrativo, poniendo de manifiesto conexiones esenciales entre autores, con Abraham, J. y Kimijima, S. emergiendo como figuras líderes en el campo de la minería y medio ambiente. Se identificaron instituciones claves y colaboraciones internacionales, subrayando la prominencia de la Universidad Al-Farabi Kazakh National. Notablemente, se registró un incremento significativo en la producción académica durante el año 2023. Además, se detectó una inclinación en el uso de términos como "Mining", "Heavy Metals" y "Environment". Este estudio enriquece la literatura existente, subrayando tendencias emergentes, líderes destacados y nexos fundamentales en el ámbito de la minería y el medio ambiente.

Palabras clave: Vosviewer; bibliometrix; análisis bibliométrico; scopus; medio ambiente.

ABSTRACT

The objective of this research was to perform an in-depth and detailed bibliometric analysis of the interrelationship between "Mining" and "Environment". From an initial total of 56,329 documents in Scopus, the research focused on specific topics related to engineering, culminating in 3,742 relevant documents. Using the advanced tools VOSviewer and Bi-bliometrix, an illustrative knowledge map was constructed, revealing essential connections between authors, with Abraham, J. and Kimijima, S. emerging as leading figures in the field of mining and environment. Key institutions and international collaborations were identified, highlighting the prominence of Al-Farabi Kazakh National University. Notably, a significant increase in academic output was recorded during 2023. In addition, an in-clination in the use of terms such as "Mining", "Heavy Metals" and "Environment" was detected. This study enriches the existing literature, highlighting emerging trends, prominent leaders and fundamental links in the field of mining and the environment.

Keywords: VOSviewer; bibliometrix; bibliometric analysis; scopus; environment.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de publicaciones científicas se ha establecido como un pilar fundamental en la investigación académica. Sirve no solo como un medio para juzgar la calidad en la producción de datos sino también para discernir su influencia y resonancia en el ámbito científico (López & Cervera, 2018) (Alhamzah et al., 2022). Sin embargo, para desentrañar y comprender este vasto corpus de información, se requieren herramientas y metodologías particulares (Gómez et al., 2014) (Garcés & Duque, 2007).

Dentro de este marco, surge la bibliometría, considerada como una subdisciplina de la cienciometría, que arroja luz sobre los desenlaces y estructura del proceso investigativo. Los indicadores bibliométricos son esenciales, brindando una mirada tanto cuantitativa como cualitativa de la actividad investigativa, su impacto y las fuentes que la respaldan (Solano et al., 2009) (Patrón et al., 2014). Tales indicadores se dividen, principalmente, en aquellos que juzgan la actividad y aquellos que miden su influencia (Flores & Eguía, 2020). Ante la intrincada naturaleza de este cometido, herramientas como VOSviewer se han erigido como vitales para la revisión y visualización de la literatura científica, particularmente en bases de datos tan vastas y prestigiosas como Scopus (Erazo & Riaño, 2020) (Tibaná & Cruz, 2020).



El propósito de la investigación que se presenta es explorar de manera sistemática las publicaciones alojadas en la base de datos Scopus, haciendo uso de software de vanguardia como VOSviewer y la herramienta Bibliometrix. El análisis se centra en elucidar la metodología, la interpretación de sus mapas de conexiones y los gráficos que se derivan. Para lograr esto, se incorporan técnicas como la normalización de fuerzas y la técnica de mapeo VOS, orientada a la visualización de similitudes, así como la técnica de agrupación, que examina la interrelación de nodos en un clúster específico (Limaymanta, 2020). Mediante este proceso detallado, se aspira no solo a describir, sino también a comprender y contextualizar las métricas de los documentos originales en Scopus.

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la realización de esta investigación, se hizo uso de la base de datos Scopus, ampliamente reconocida en el ámbito académico por su vasta colección de literatura científica (Base de datos de Scopus, 2018). Se emplearon herramientas software de análisis, específicamente VOSviewer y Bibliometrix, las cuales son referentes en el procesamiento y visualización de datos bibliométricos (Massimo & Corrada, 2017) (Eck & Walman, 2015).

2.2 Procedimientos

La metodología empleada comenzó con la definición de los criterios de búsqueda en Scopus, enfocándonos en el área de "Environmental Science" y "Earth and Planetary Sciences". Se delimitó el periodo de tiempo desde el año 2003 hasta 2023. Como tipo de documento, se seleccionaron exclusivamente artículos. Las palabras claves para la búsqueda fueron "Mining" y "Environment", y se buscó específicamente en los campos de título del artículo, resumen y palabras clave. Se tomó la decisión de excluir cualquier documento y autor proveniente de China.

Luego de aplicar los filtros y criterios mencionados, se obtuvo un total de 3742 documentos. Esta información fue posteriormente extraída y procesada utilizando VOSviewer para la creación de mapas y clústeres de red. Paralelamente, Bibliometrix fue utilizado para organizar, analizar y presentar la información de manera detallada y sistemática (Darvish, 2018) (Patron et al., 2014).

2.3 Métodos

Metodológicamente, se empleó un enfoque bibliométrico, aprovechando las capacidades analíticas de VOSviewer y Bibliometrix. Se realizó un análisis descriptivo inicial para obtener una panorámica general de los resultados, seguido de un análisis cuantitativo con Bibliometrix, que permitió generar gráficos y estadísticas para una interpretación más precisa y granular de la información. Este análisis cuantitativo, combinado con el análisis descriptivo, proporcionó una visión comprensiva y detallada del corpus de documentos analizados (Abbas et al., 2022) (Salle, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Producción científica anual

En la **Figura 1** se muestra la producción científica anual desde 2003 hasta 2023. Se puede observar que la producción comenzó en un punto relativamente bajo en 2003, experimentando una caída pronunciada alrededor de 2009, para luego recuperarse y mostrar un aumento sostenido en la producción de artículos a partir de 2011. A partir de ahí, la tendencia general ha sido ascendente, alcanzando su punto más alto en 2023. La disminución observada alrededor de 2009 puede estar relacionada con eventos globales o cambios en la financiación de la investigación. Por otro lado, el aumento sostenido desde 2011 sugiere un periodo de crecimiento y consolidación en el campo de estudio de la minería y medio ambiente. La tendencia ascendente observada en la producción de artículos científicos refleja un incremento notable en la actividad investigativa y la importancia del campo de minería y medio ambiente. Esta relevancia se ha intensificado con los años, destacándose estudios significativos como el de Saeede et al. (2023), que en su investigación aborda la evaluación del impacto ambiental en la producción de oro a partir del mineral refractario doble en instalaciones de gran escala. Mediante un enfoque de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), Kadivar et al. Examinan las cargas ambientales asociadas a la producción aurífera. De manera complementaria, Senju et al. (2023) investi-

gan los sistemas para la supresión de polvo de carbón en minas a cielo abierto. Su estudio revela que el polvo de carbón no solo constituye un contaminante significativo del aire, afectando al personal de las minas, sino que también impacta a las comunidades residenciales cercanas. Estos trabajos ejemplifican el enfoque actual y crítico del sector hacia los desafíos medioambientales asociados a la minería.

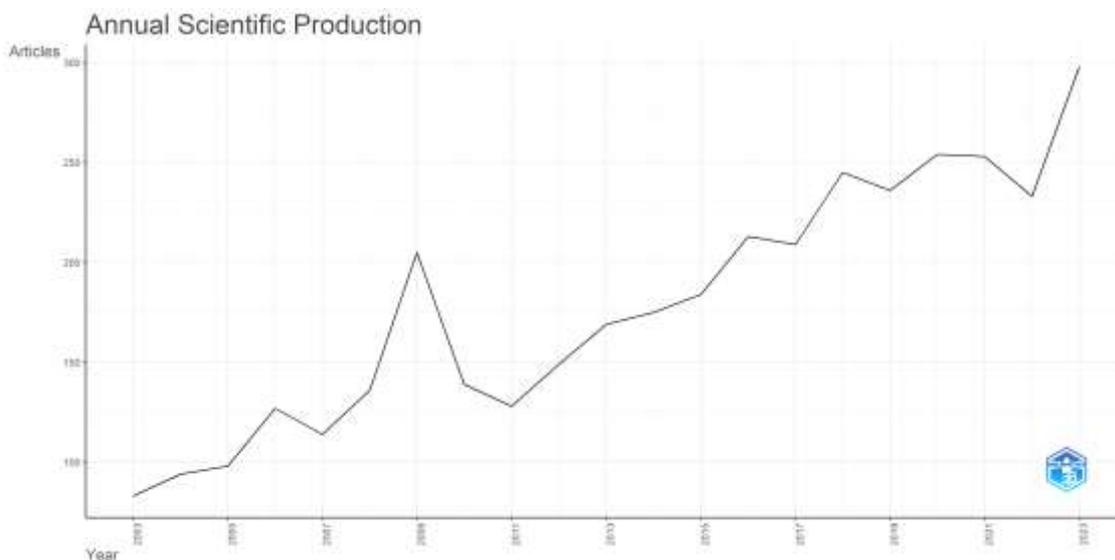


Figura 1. Producción científica anual

3.2 Análisis de coautoría y autores contribuyentes

La **Figura 2**, elaborada mediante VOSviewer, ofrece un detallado mapa de relaciones de coautoría dentro del campo de estudio, destacando patrones de colaboración e influencias entre investigadores desde 2005 hasta 2020. En este mapa, los nodos representan a los autores y sus grupos de investigación, y las líneas interconectadas señalan las colaboraciones entre ellos. La proximidad y el color de los nodos proporcionan información valiosa sobre la frecuencia y la temporalidad de estas colaboraciones (Doering, Carpintero, Blake, & David, 2019). Particularmente, los nodos amarillos y naranjas resaltan a autores con contribuciones recientes, a partir de 2015. C. Doering es notable por su trabajo colaborativo con J. Carpintero, O. Blake y U. David en estudios como la concentración de organismos en ambientes acuáticos mineros y el establecimiento de directrices para la calidad radiológica del agua (Doering et al., 2019). Además, en 2018, Doering colaboró con Pedro, M., Blake, O. y David, U. en un estudio sobre proporciones de concentración de organismos en conjuntos de datos de ambientes tropicales australianos (Doering, Pedro, Blake, & David, 2018). En contraste, los nodos azules y verdes indican a autores cuyas aportaciones fueron más destacadas antes del 2015. Aquí, investigadores como D. Franks, K. Sultan y A. Ordóñez han influenciado el desarrollo temprano del campo, como se observa en los estudios sobre la contaminación del suelo por legados mineros de mercurio en Asturias. En este ámbito, Ordóñez colaboró con Rodrigo, Á. y Jorge, L. en investigaciones pioneras (Ordóñez, Rodrigo, & Jorge, 2013). Estos trabajos no solo documentan la evolución histórica del campo, sino que también establecen las bases para investigaciones recientes. La representación visual en la **Figura 2** no solo muestra la evolución de las colaboraciones y temáticas de investigación a través del tiempo, sino que también destaca la importancia de las redes interdisciplinarias y transnacionales en el progreso del conocimiento en el campo de la minería y el medio ambiente.

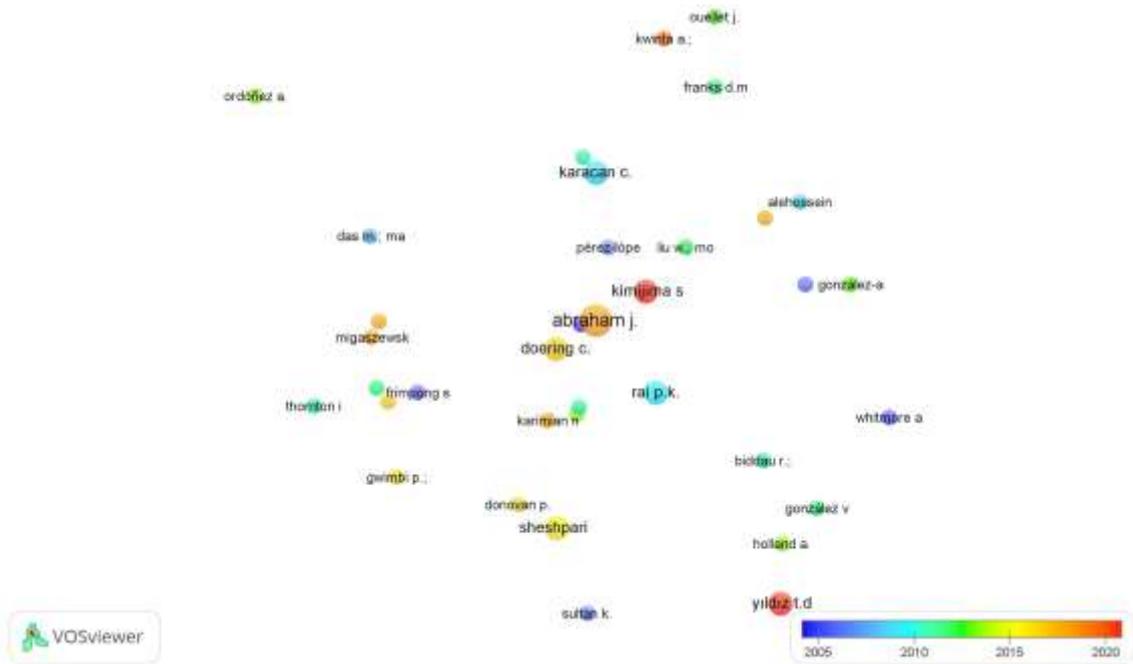


Figura 2. Mapa de relaciones entre autores

3.3 Análisis de coautoría y organizaciones contribuyentes

La Figura 3 muestra las relaciones entre diferentes instituciones y organizaciones de investigación. Los nodos (círculos) representan distintas instituciones o laboratorios, y las líneas entre ellos indican alguna forma de colaboración o relación. Las conexiones más densas sugieren colaboraciones más frecuentes o fuertes. Destaca el "Jožef Stefan Institute", que parece ser un punto central de colaboración, teniendo vínculos con diversas instituciones alrededor del mundo. Otros nodos notables son el "Chui Ecological Laboratory" y "Al-Farabi Kazakh National", lo que sugiere que estos también tienen un papel significativo en la red de colaboraciones.

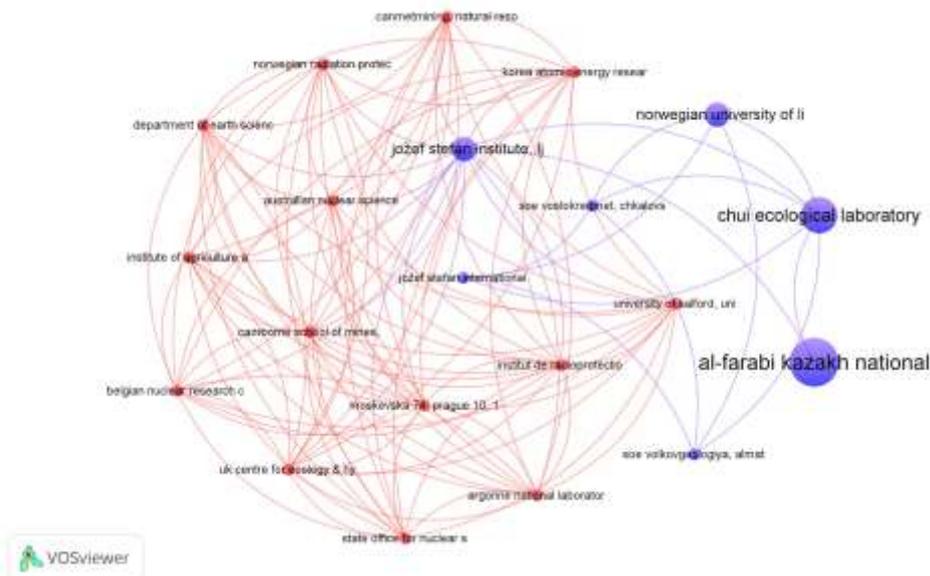


Figura 3. Relaciones entre instituciones y organizaciones de investigación

3.4 Análisis de coautoría y países contribuyentes

La **Figura 4** de nuestro estudio ilustra de manera efectiva el panorama global de colaboraciones en el ámbito de la minería y medio ambiente, enfatizando el rol de ciertas naciones en la vanguardia de la investigación. Los nodos más prominentes, representando países como Estados Unidos, India, Australia y Francia, reflejan no solo un volumen considerable de investigaciones publicadas, sino también una red extensa de colaboraciones internacionales. Por ejemplo, el trabajo de Han et al. (2023) en Australia se concentra en la biolixiviación de desechos mineros de tungsteno utilizando bacterias acidófilas autóctonas, un avance significativo en el tratamiento y gestión de residuos mineros. Esta investigación demuestra cómo Australia está avanzando en el desarrollo de técnicas ecoeficientes para la minería (Zheng Dong et al., 2023). En un contexto francés, Guillevic et al. (2023) exploraron el legado de la contaminación atmosférica metalúrgica en regiones montañosas, proporcionando una perspectiva crucial sobre la contaminación por plomo y sus efectos persistentes en el medio ambiente (Guillevic et al., 2023). En los Estados Unidos, Giannetta et al. (2023) abordan la atenuación natural de metales pesados a través de la precipitación secundaria de hidrocincita en minas abandonadas, un estudio que subraya la importancia de las soluciones pasivas para el manejo de sitios contaminados (Giannetta et al., 2023). La prominencia de estos países en el mapa de cooperación no solo subraya su liderazgo en la investigación, sino también sugiere una robusta infraestructura de investigación y una cultura académica sólida enfocada en resolver problemas ambientales complejos relacionados con la minería. Además, la densidad de las conexiones entre ciertos grupos de países, particularmente en Europa, indica no sólo la presencia de colaboraciones regionales, sino también una posible afinidad cultural e histórica que facilita la investigación conjunta. Esta observación concuerda con la literatura existente que señala cómo los factores geográficos, culturales y políticos pueden influir en la colaboración científica y la formación de redes de investigación.

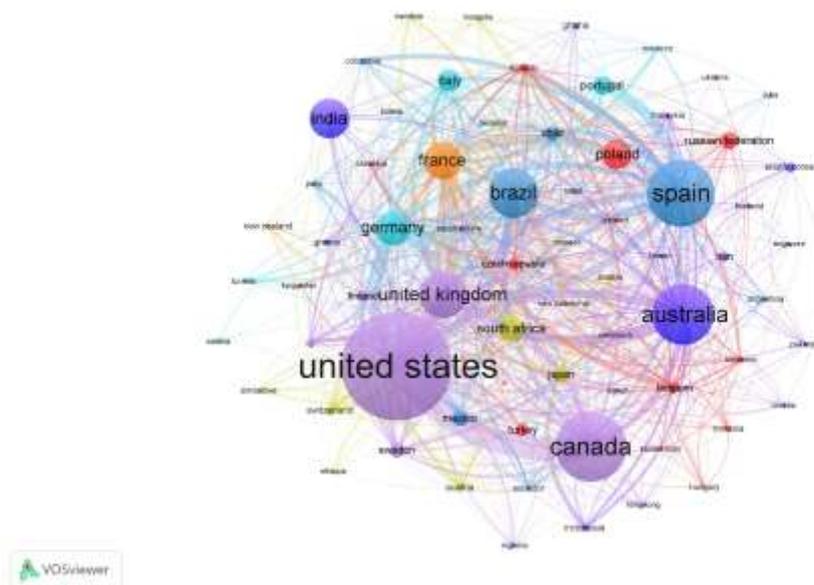


Figura 4. Mapa de cooperación entre países.

3.5 Análisis de co-ocurrencia de palabras clave del autor

La **Figura 5** de nuestro estudio despliega una visualización detallada sobre la co-ocurrencia de palabras clave en la literatura relacionada con la minería y el medio ambiente, destacando no sólo las áreas de enfoque principal sino también cómo estas interconexiones evolucionan a lo largo del tiempo. En esta representación, los nodos más grandes – "Mining", "Environment", "Heavy Metals" – emergen como las temáticas predominantes, evidenciando su frecuencia y relevancia en las investigaciones actuales. La conectividad entre estas palabras clave revela interrelaciones significativas, por ejemplo, entre la minería y su impacto en el medio ambiente, especialmente en relación con los contaminantes como el arsénico y el mercurio. Las investigaciones de Kim y Ko (2023) se destacan por su alta frecuencia en el uso de la palabra clave "arsénico". Su estudio se centra en un modelo de transporte reactivo bidimensional para rastrear los orígenes y la contribución del ar-

sénico en sistemas de agua y suelo, proporcionando un avance significativo en la comprensión de la contaminación y la movilidad del arsénico (Kim & Ko, 2023). Por otra parte, Malome et al. (2023) resaltan en su investigación el término "mercurio", enfocándose en la transición del uso de mercurio a cianuro en la minería de oro artesanal y a pequeña escala, un estudio que abarca aspectos sociales, económicos, geoquímicos y ambientales (Malome et al., 2023). Este enfoque subraya la importancia de comprender las implicaciones ambientales y de salud de los métodos utilizados en la minería artesanal. En el ámbito de la remediación, la frecuencia de la palabra "remediación" en los trabajos de Nguyen et al. (2023) indica un interés creciente en la investigación sobre el uso de biocarbón para la remediación de suelos. Su revisión exhaustiva de las investigaciones actuales destaca el potencial del biocarbón como una solución efectiva para la eliminación de contaminantes del suelo (Nguyen et al., 2023). Finalmente, el gradiente de color en la figura, que varía desde 2014 hasta 2017, no solo muestra las tendencias temporales en la popularidad de ciertas palabras clave, sino también refleja cómo los focos de investigación han evolucionado durante este período. Estos cambios temporales en la terminología clave pueden indicar un cambio en las prioridades de investigación y en los enfoques metodológicos, así como una respuesta a las dinámicas emergentes del campo y a los problemas ambientales globales.

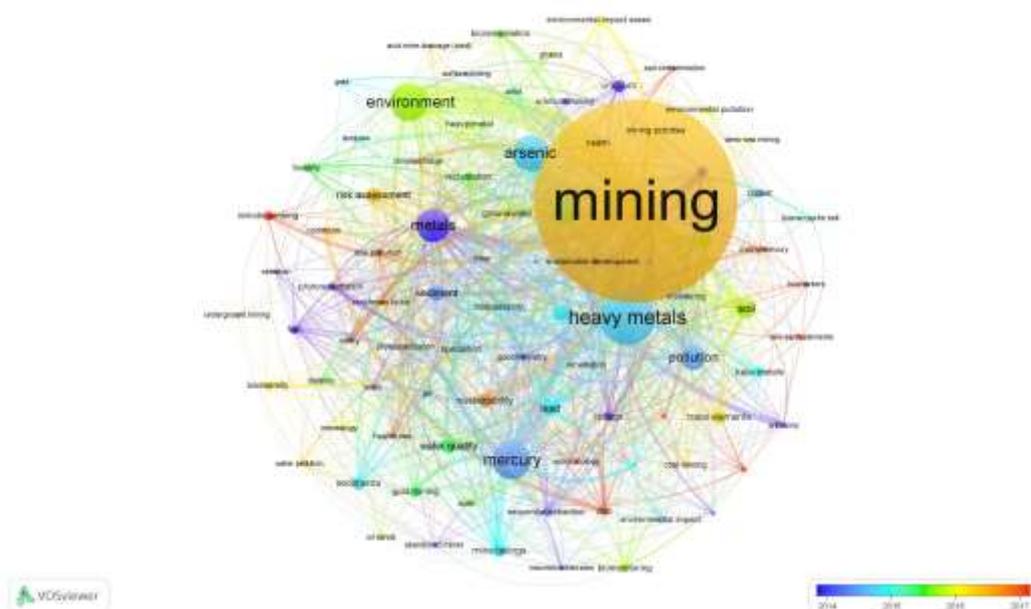


Figura 5. Palabras más frecuentes con referidos al tiempo

3.6 Fuentes más relevantes

En la **Figura 6**, se realiza un análisis detallado de las revistas académicas líderes en la publicación de investigaciones relacionadas con minería y medio ambiente. Este examen es crucial para entender las tendencias de publicación en el campo y para identificar las fuentes más influyentes y citadas. "Science of the Total Environment" emerge como la revista más prolífica, con 302 documentos publicados. Esta prominencia se ve seguida por revistas como "Environmental Monitoring and Assessment" y "Environmental Science and Pollution Research". La importancia de estas revistas radica en su papel en difundir las investigaciones más actuales y relevantes en el área de la minería y su impacto ambiental. En "Science of the Total Environment", Flores, O. et al. (2023) publicaron una investigación crucial que se enfoca en el contexto geológico y la exposición humana a mezclas de elementos en entornos mineros y agrícolas en Colombia. Este estudio destaca por su enfoque en las interacciones entre actividades mineras, contaminación ambiental y salud humana, un área de creciente preocupación global (Florez, O. et al., 2023). Por otro lado, en "Environmental Monitoring and Assessment", Ribeiro y su equipo (2023) presentaron un trabajo innovador sobre las respuestas de la comunidad de artrópodos del suelo a la restauración en áreas impactadas por la deposición de relaves mineros, específicamente tras la falla de la presa de Fundao. Este estudio es particularmente relevante por su enfoque en la recuperación ecológica y la biodiversidad en zonas afectadas por desastres mineros (Ribeiro et al., 2023).

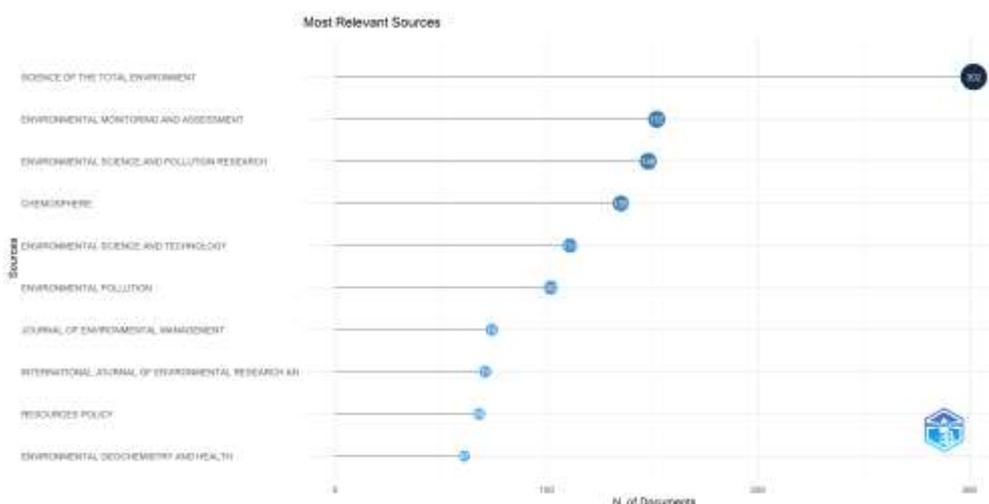


Figura 6. Fuentes más relevantes

3.7 Afiliaciones más relevantes

La **Figura 7** proporciona una visión reveladora de las afiliaciones universitarias y su contribución a la investigación en el ámbito de la minería y el medio ambiente, basada en el número de publicaciones. Este análisis de afiliación es crucial para comprender la distribución geográfica y la intensidad de la investigación en estas áreas. La Universidad de Huelva emerge como un líder en la producción de conocimiento, con 116 artículos publicados. Este volumen refleja no solo la intensidad de la investigación sino también la posible centralidad de esta institución en los estudios ambientales y de minería. La presencia notable de "Not Reported" con 104 publicaciones subraya una tendencia interesante donde varios investigadores o sus instituciones optan por no divulgar su afiliación, lo que podría indicar una variedad de factores, desde la sensibilidad de la investigación hasta cuestiones de política académica. La Hokkaido University, con 97 publicaciones, también se destaca en este campo. Dentro de sus aportes, se encuentra el estudio de Tabalin et al. (2021), que aborda la producción de cobre y metales críticos a partir de minerales de pórfido y desechos electrónicos, destacando temas como la disponibilidad de recursos, los desafíos en procesamiento y reciclaje, y la sostenibilidad (Tabelin et al., 2021). El gráfico muestra además que una amplia gama de universidades alrededor del mundo está activamente involucrada en este sector de investigación. Esta diversidad geográfica indica la relevancia universal y la naturaleza multidisciplinaria de los estudios sobre minería y medio ambiente, reflejando también la variedad de enfoques y contextos en que se abordan estos temas.

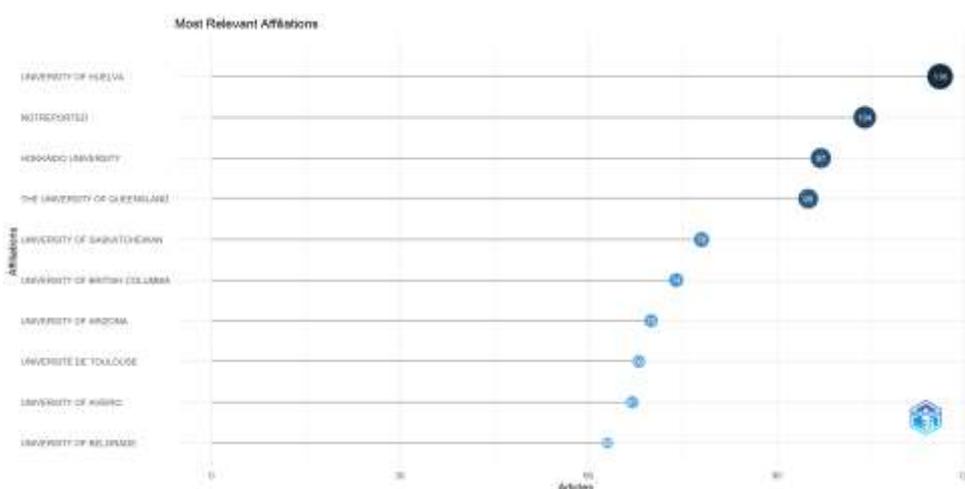


Figura 7. Afiliaciones más relevantes

3.8 País del autor correspondiente

La **Figura 8** muestra los países de los autores correspondientes de los documentos, divididos en dos categorías: SCP (Single Country Publications – Publicaciones de un solo país) y MCP (Multiple Country Publications – Publicaciones de múltiples países). Los Estados Unidos (USA) lideran en términos de número total de documentos, seguido por Canadá, España y Australia. La distinción entre SCP y MCP es crucial porque muestra la colaboración internacional. Por ejemplo, aunque España tiene un alto número de SCP, también tiene un considerable número de MCP, lo que indica una fuerte colaboración internacional en investigaciones.

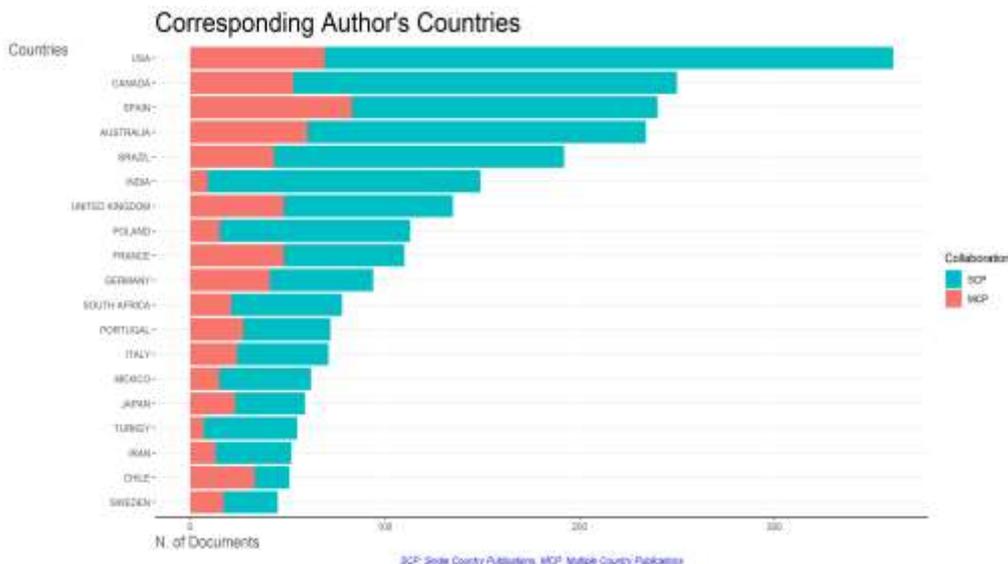


Figura 8. País del autor correspondiente

3.9 Diagrama estratégico de palabras claves

La **Figura 9** muestra un diagrama cuadrante, la cual presenta en el eje Y la densidad del grado de desarrollo y en el eje X el grado de relevancia (Centralidad). El diagrama se divide en cuatro secciones: Temas de nicho: ubicados en el cuadrante superior izquierdo, estos contienen temas de alta densidad de desarrollo, pero de baja centralidad. La única temática presente aquí es “minería subterránea”. Los temas motores: posicionados en el cuadrante superior derecho, son temáticas ostentas a una alta densidad de desarrollo y una alta centralidad, se destacan temas como “metales pesados”, “arsénico” y “drenaje ácido de mina”. Temas emergentes o en Declive: situados en el cuadrante inferior izquierdo. No se observan temáticas en esta sección. Temas básicos: localizados en el cuadrante inferior derecho, representan temáticas con baja densidad de desarrollo, pero alta centralidad. Aquí se encuentran “minería”, “medio ambiente” y “metales”.

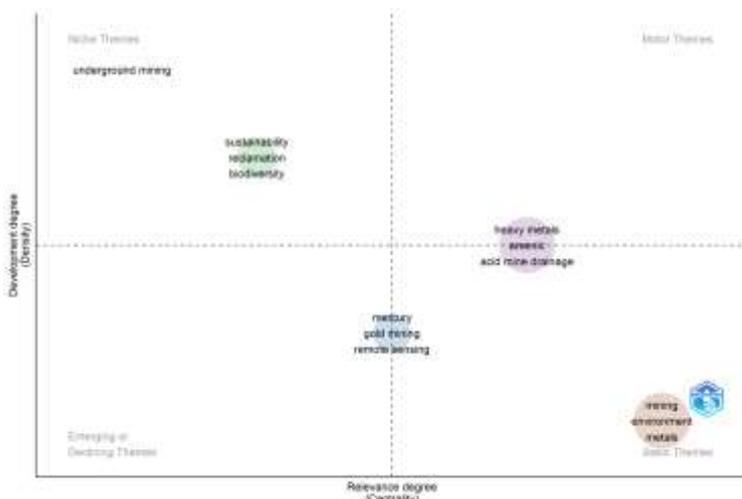


Figura 9. Diagrama estratégico

3.10 Dendograma jerárquico de palabras claves

En la **Figura 10** se muestra el dendograma jerárquico que estructura diversas palabras claves de autores asociados a la minería y medio ambiente, segmentando los temas en cinco clústeres principales: clúster hidrológico (color rojo y azul), incluye al agua que actúa como categoría raíz para el clúster, indicando su importancia primordial del agua en el contexto ambiental minero. Acá se incluye a los relaves, sedimentos y suelo. Clúster de sostenibilidad (color verde), donde sostenibilidad es el nodo raíz que destaca la importancia de las prácticas sostenibles en la minería, acá se incluye a la contaminación del suelo. Clúster ecológico (Color purpura), esto incluye el medio ambiente que es el nodo central de la relación, dentro de ello se observa el drenaje ácido de mina, calidad de agua y bio-monitoreo. Clúster metalúrgico (color naranja) que muestra los metales pesados que pueden tener efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana.

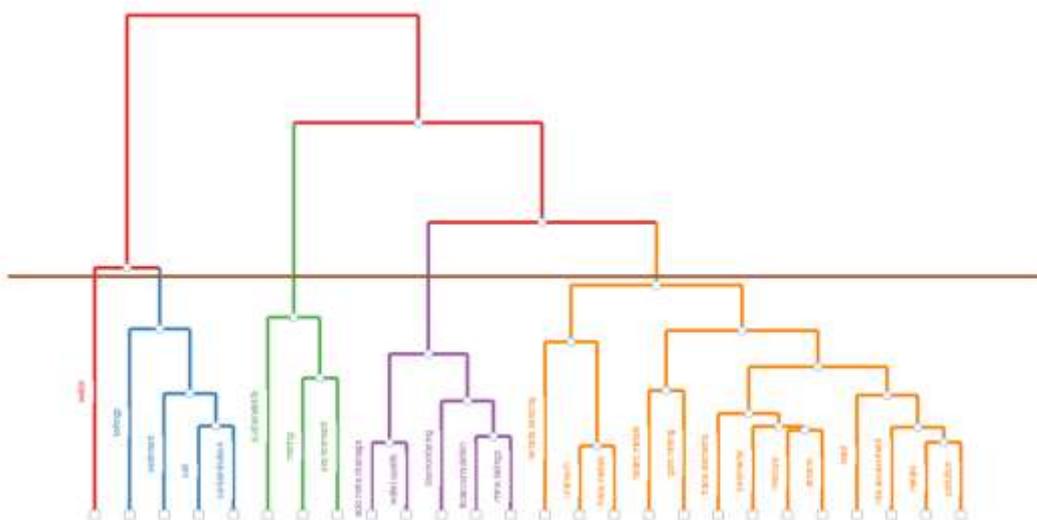


Figura 10. Dendograma jerárquico de palabras claves de autores

3.11 Producción por países

En la **Figura 11** se muestra la evolución en la producción de artículos de diferentes países a lo largo del tiempo, se puede observar que: Australia ha tenido un aumento constante y significativo en su producción de artículos desde 2003 hasta 2021. Esta tendencia sugiere que Australia ha incrementado significativamente su investigación y publicaciones durante este periodo. EE.UU y Canadá también ha mostrado un crecimiento sostenido, aunque a un ritmo más moderado en comparación con Australia. Brasil y España presentan una tendencia creciente, pero con una inclinación menor en la curva, lo que indica un crecimiento más lento en comparación con otros países.

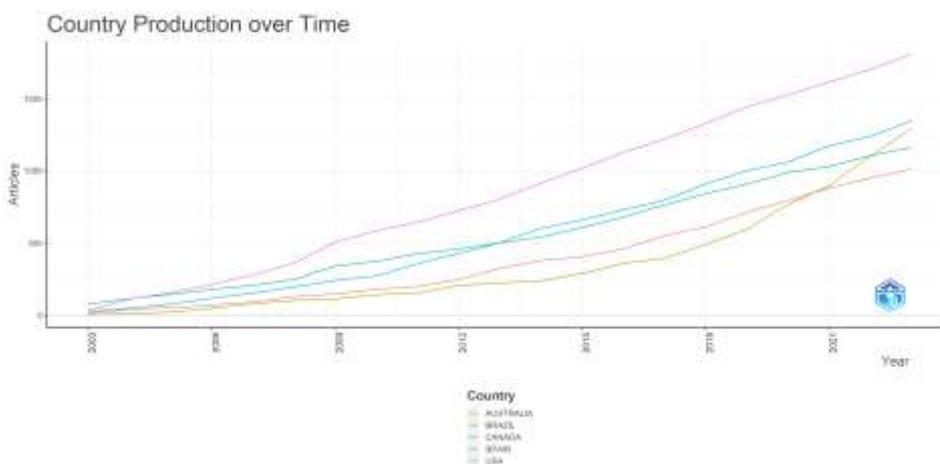


Figura 11. Producción por país a lo largo del tiempo

3.11 Conexión entre países

La **Figura 12** ofrece una visión integral de la interacción entre distintos países, autores y temas de investigación, desvelando patrones significativos de colaboración y enfoque temático en el campo de la minería y medio ambiente. Es notable cómo autores como Nieto JM, Esbri JM, e Higuera P demuestran fuertes lazos con países como España, Italia y el Reino Unido. Este patrón sugiere la existencia de redes de investigación transnacionales y la realización de estudios conjuntos, reflejando un enfoque colaborativo en la ciencia contemporánea. Estas colaboraciones pueden ser indicativas de esfuerzos coordinados para abordar problemas complejos en minería y medio ambiente que requieren de un enfoque multinacional. Las palabras clave asociadas a los investigadores y países, como el mercurio, la minería y los metales pesados, se resaltan como focos de atención. La prominencia de estas áreas temáticas indica la urgencia y la importancia de abordar los impactos ambientales y de salud asociados con estas prácticas y sustancias. La investigación de León, R. et al. (2023) sobre el drenaje ácido de minas en la Faja Pirítica Ibérica subraya el interés continuo en la geoquímica y el impacto ambiental de las prácticas mineras, particularmente en España. Esbrí, J. et al. (2023) abordan la disponibilidad y los impactos del antimonio en contextos mineros, integrando perspectivas de España y otros países. Esta investigación resalta la necesidad de evaluar los impactos ambientales y de exploración/explotaciones mineras, un tema crucial en la gestión sostenible de los recursos minerales. González, A. et al. (2023) proponen un enfoque para evaluar la biodisponibilidad y el riesgo de elementos tóxicos usando plantas comestibles y no comestibles, centrado en la zona minera de Remance (Panamá). Esta colaboración entre Panamá y España refleja la importancia de los estudios interdisciplinarios y aplicados en regiones específicas. Las interacciones entre autores, países y temáticas reflejadas en la Figura 12 destacan la naturaleza global y colaborativa de la investigación en minería y medio ambiente. Las alianzas entre investigadores de diferentes naciones, la concentración en temas específicos como el mercurio y los metales pesados, y los estudios de casos representativos, todos contribuyen a un cuerpo de conocimiento que es vital para abordar los desafíos contemporáneos en estos campos.

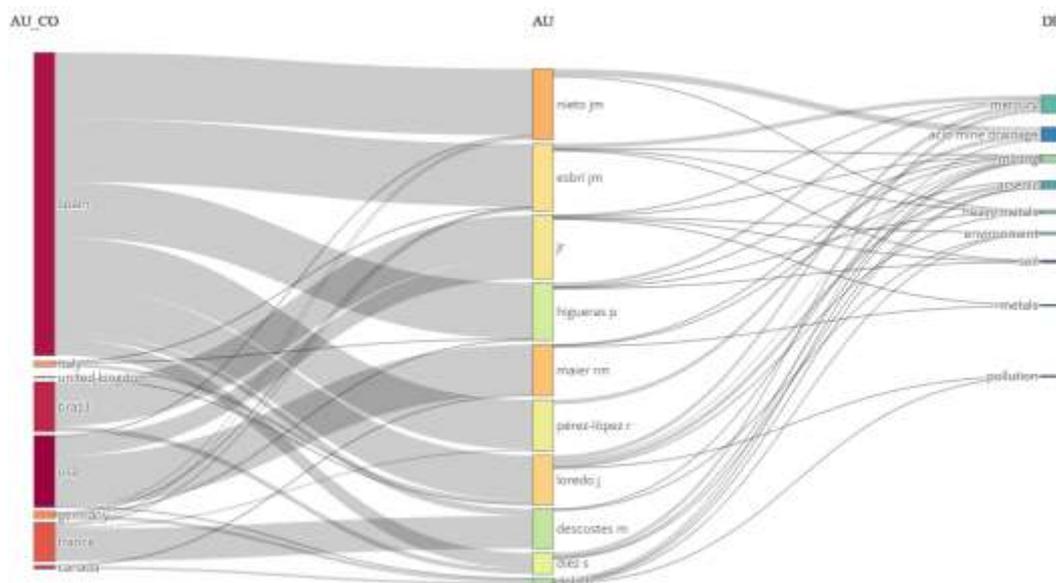


Figura 12. Diagrama de conexiones entre países, autores y palabras claves.

La **Figura 13** muestra el mapa de colaboración diferentes países del mundo, representados en tono de azul. Cuanto más oscuro es el azul, más prominente parece ser el país en términos de colaboración o importancia en este contexto. Existen líneas marrones que conectan diferentes países entre sí. Estas líneas indican rutas o conexiones de colaboración entre los países. Se puede notar una concentración significativa de líneas conectando a América del Norte (específicamente Estados Unidos) con Europa, Asia y Australia, lo que indica una fuerte colaboración o interacción entre ambos continentes y países. Europa también muestra muchas conexiones internas, lo que indica un alto nivel de colaboración entre los países europeos.

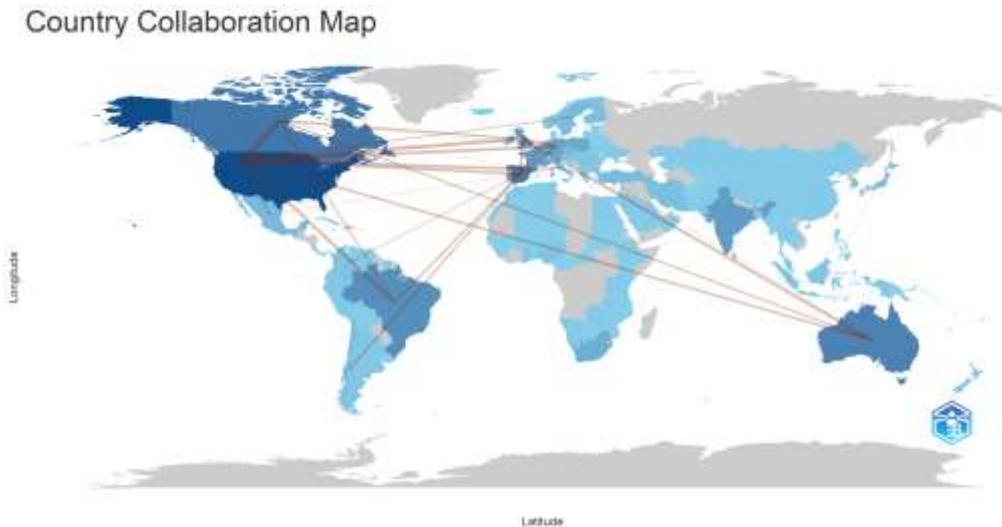


Figura 13. Mapa de colaboración entre países

CONCLUSIONES

En este estudio se llevó a cabo un meticuloso análisis de 56,329 documentos de Scopus, focalizándose en temáticas como ingeniería y ajustando los parámetros hasta consolidar una muestra de 3,742 documentos relacionados con “Mining” y “Environment”. Con la implementación de herramientas especializadas, VOSviewer y Bibliometrix, se logró construir un mapa de conocimiento que destaca las conexiones entre autores, evidenciando líderes en el campo como Abraham, J. y Kimijima, S. Se identificaron organizaciones y colaboraciones internacionales clave, con una producción documental destacada en 2023 y terminología enfocada en Mining, Heavy Metals, Environment, entre otros. Estos hallazgos no solo enriquecen el entendimiento teórico y práctico, sino que también abren la puerta a futuras investigaciones, como el análisis de la interacción entre tecnologías emergentes y su impacto en la minería o el estudio detallado de las colaboraciones interdisciplinarias y transnacionales en el campo de la ingeniería de minas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alhamzah, F., Abbas, A., Adaviah, M., Ahmed, H., Alsharif & Javed, Ali. (2022). Bibliometrix analysis of information sharing in social media. *Cogent Business & Management*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.2016556>.
- Darvish, H. (2018). Bibliometric analysis using Bibliometrix an R Package. UNT Digital Library, 8.
- Doering, C., Carpenter, J., Orr, B., Urban, D. (2019). Whole organism concentration ratios in freshwater wildlife from an Australian tropical U mining environment and the derivation of a water radiological quality guideline value. *Journal of Environmental Radioactivity*, 198, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.12.011>.
- Doering, C., Medley, P., Orr, B., Urban, D. (2018). Whole organism to tissue concentration ratios derived from an Australian tropical dataset. *Journal of Environmental Radioactivity*, 189, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.03.002>.
- Eck, V., & Walman, W. (2015). VOSviewer.
- Erazo, P., Riaño, I. (2020). Relación entre felicidad en el trabajo y desempeño laboral: análisis bibliométrico, evolución y tendencias. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (64), 241-280. <https://doi.org/10.35575/rvuca.n64a10>.
- Esbrí, J., Minang, C., Rivera, S., Madrid, M., García, E., González, A., Maguregui, M., Thouin, H., Barraglia, F., Gloaguen, E., Higuera, P. (2023). Evaluation of antimony availability in a mining context: Impact for the environment, and for mineral exploration and exploitation. *Chemosphere*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137086>.

- Flores, F., Eguía, A. (2020). Indicadores bibliométricos y su importancia en la investigación clínica. ¿Por qué conocerlos? Revista de la Sociedad Española del Dolor. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2018.3659/2018>.
- Florez, O., Vilanova, E., Alcaide, C., Henao, J., Villareal, C., Medina, O., Rodriguez, L., Idrovo, A., Sánchez, L. (2023). Geological context and human exposures to element mixtures in mining and agricultural settings in Colombia. *Science of the Total Environment*, 898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165632>.
- Garcés, J., Duque, E. (2007). Metodología para el análisis y la revisión crítica de artículos de investigación. *Innovar*, 17(29).
- Giannetta, M., Soler, J., Queralt, I., Cama, J. (2023). Natural attenuation of heavy metals via secondary hydrozincite precipitation in an abandoned Pb/Zn mine. *Journal of Geochemical Exploration*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107236>
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., Betancourt, L. (2014). Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization. *Dyna rev. fac. nac. minas*, 81(184). <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>.
- González, A., Jiménez, J., Rodríguez, R., Monteza, T., Vargas, M., García, E., Esbrí, J., Jiménez, R., García, F., Higuera, P. (2023). An approach for evaluating the bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements using edible and inedible plants—the Remance (Panama) mining area as a model. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(1), 151-170. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01086-8>.
- Guillevic, F., Arnaud, F., Rossi, M., Poulenard, J., Sabatier, P., Develle, A., Quantin, C., Monvoisin, G. (2023). The legacy of metallurgical atmospheric contamination in a mountainous catchment: A delayed response of Pb contamination. *Science of the Total Environment*, 895. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165127>.
- Han, Z., Levett, A., Edraki, M., Jones, M., Howard, D., Southam, G. (2023). Accelerating bioleaching of tungsten mining wastes using indigenous acidophilic bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 454. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131490>.
- Kim, B., Ko, M. (2023). Two-dimensional reactive transport model as a new approach for identifying the origins and contribution of arsenic in a soil and water system. *Science of the Total Environment*, 898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165468>.
- León, R., Macías, F., Cánovas, C., Millan, R., Pérez, R., Ayora, C., Nieto, J. (2023). Evidence of rare earth elements origin in acid mine drainage from the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Ore Geology Reviews*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105336>.
- Limaymanta, C. (2020). El mapeo científico con VOSviewer: un ejemplo con datos de WoS. *Revista para profesionales de información*.
- López, P., Cervera, M. (2018). Inteligencia de negocios e inteligencia competitiva como elementos detonadores para la toma de decisión informada: Un análisis bibliométrico. *Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*, 6(31).
- Malome, A., Figueroa, L., Wang, W., Smith, N., Ranville, J., Vuono, D., Alejo, F., Morales, P., Sharp, J., Bellona, C. (2023). Transitional dynamics from mercury to cyanide-based processing in artisanal and small-scale gold mining: Social, economic, geochemical, and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, 898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165492>.
- Massimo, A., Corrado, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4): 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- Nguyen, T., Sherpa, K., Bui, X., Nguyen, V., Vo, T., Ho, H., Chen, C., Dong, C. (2023). Biochar for soil remediation: A comprehensive review of current research on pollutant removal. *Environmental Pollution*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122571>.

- Ordóñez, A., Álvarez, R., Loredó, J. (2014). Soil pollution related to the mercury mining legacy at Asturias (Northern Spain). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 28(6), 389-396. <https://doi.org/10.1080/17480930.2014.967920>.
- Ordóñez, A., Álvarez, R., Loredó, J. (2013). Asturian mercury mining district (Spain) and the environment: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7490-7508. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1663-4>.
- Patron, C., López, J., Piovesan, S., Demaría, B. (2014). Bibliometric analysis of the scientific production in *Odontostomatología* journal. *Odontostomatología*, 16(23).
- Ribeiro, L., Silva, A., Vaz, K., Dos Santos, J., Nunes, C., Carneiro, M. (2023). Soil arthropod community responses to restoration in areas impacted by iron mining tailings deposition after Fundão dam failure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11843-0>.
- Salle, U. (2020). *Guía para la visualización de datos: Bibliometrix*.
- Saeede, K., Hamid, A., Ehsan, V. (2023). Assessing the environmental impact of gold production from double refractory ore in a large-scale facility. *Science of the Total Environment*, 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167841>.
- Senju, P., Shankar, S., Jithin, S., Sandeep, S., Irshad, M., Jerry, D., Tarique, S. (2023). Online coal dust suppression system for opencast coal mines. *International Journal of Coal Science and Technology*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-023-00624-2>.
- Solano, E., Castellanos, S., López, M., Hernández, J. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur*, 7(4).
- Tabelin, C., Parque, I., Phengsaart, T., Jeon, S., Villacorte, M., Alonso, D., Yoo, K., Esto, M., Hiroyoshi, N. (2021). Copper and critical metals production from porphyry ores and E-wastes: A review of resource availability, processing/recycling challenges, socio-environmental aspects, and sustainability issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105610>.
- Tibaná, C., & Cruz, A. (2020). Análisis bibliométrico sobre la producción científica del trabajo social digital con Scopus y bibliometrix. *Sinergias educativas*, 6(1), 82-102.