

MINERÍA Y SOSTENIBILIDAD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA EN EL PERIODO DE 2020 A 2024

Mining and Sustainability: A Systematic Literature Review from 2020 to 2024

*Lizeth Cristina Chatez Ortega – Grupo de Investigación Minero Ambiental - SENA.
Correo electrónico: lcchatez@sena.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6873-3062>*

Resumen

El presente estudio busca contribuir desde la revisión de literatura especializada a la identificación y comprensión de los diversos resultados de investigación en el sector minero desde el ámbito de la sostenibilidad en el periodo de 2020 a 2024, buscando reconocer y promover un conocimiento que contribuya a una minería sostenible y ambientalmente responsable. Para lo que se identificaron cinco acciones de sostenibilidad alrededor de las cuales se planteó el referencial teórico y el análisis de resultados. Se destaca la sostenibilidad y la minería a pequeña escala como una acción de sostenibilidad emergente a partir del análisis de los documentos encontrados. Este artículo podría ser tomado como una base teórica que puede ser enriquecida, ampliada y enfocada espacialmente, con el objetivo de analizar las tendencias de minería sostenible a nivel local. Por último, de acuerdo a los hallazgos de la presente revisión, se recomienda que futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad se enfoquen en líneas como energías renovables y eficiencia energética, centrando los estudios en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética.

Palabras clave: Revisión sistemática de literatura, minería, sostenibilidad.

Abstract

This study aims to contribute to the identification and understanding of the various research results in the mining sector in the field of sustainability in the period from 2020 to 2024, through a review of specialist literature, with the aim of identifying and promoting knowledge that contributes to sustainable and environmentally responsible mining. For this purpose, five sustainability actions have been identified, around which the theoretical framework and the analysis of the results have been proposed. Sustainability and small-scale mining are highlighted as an emerging sustainability action based on the analysis of the documents found. This article is established as a theoretical basis that can be enriched, expanded and spatially focused with the aim of analyzing sustainable mining trends at the local level. Finally, based on the results of this review, it is recommended that future research in the field of mining and sustainability focus on lines such as renewable energy and energy efficiency, centering studies on the challenges and opportunities of development associated with the increase in mining due to the energy transition.

Keywords: Education, teaching, integration. Systematic literature review, Mining, Sustainability.

1. Introducción

La extracción de recursos minerales posibilita el desarrollo económico y tecnológico en la sociedad actual, ejerciendo una alta presión en los ecosistemas y generando una huella ecológica preocupante para la conservación de la biodiversidad en el planeta. Razón por la cual la industria minera enfrenta un creciente desafío por avanzar hacia la transición de una industria extractiva sostenible. En este contexto, el presente artículo de revisión de literatura especializada tiene como objetivo identificar las principales tendencias referentes a acciones de sostenibilidad en la industria minera, buscando contribuir con el fomento de una minería orientada a minimizar el impacto ambiental.

Para abordar este objetivo, el artículo se encuentra estructurado en secciones, en la primera el referencial teórico, aporta un marco conceptual identificando acciones de sostenibilidad, con base en las cuales se desarrolla el análisis de resultados. La segunda sección referente al

procedimiento metodológico, detalla el proceso de revisión empleado para seleccionar y revisar la literatura relevante. En la tercera sección, se realiza una presentación descriptiva de los principales resultados, articulado con los hallazgos referentes a las tendencias identificadas en la literatura. La última sección concluye sintetizando los hallazgos más relevantes y realizando recomendaciones para futuros estudios en el ámbito de la minería sostenible.

Este artículo de revisión ofrece una visión del panorama en la literatura científica con relación a las principales acciones de sostenibilidad identificadas en la industria minera, estableciendo retos y oportunidades. Por último, se realizan recomendaciones para futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad

2. Referencial teórico

En términos generales, la minería hace referencia a la actividad industrial y económica que abarca la extracción, procesamiento y comercialización de minerales presentes en la corteza terrestre, existen diferentes tipos, como la minería a cielo abierto, subterránea, aluvión, entre otras. El sector minero aporta el 45% de la economía mundial (Minería sostenible de Galicia, 2022), los minerales extraídos son esenciales para diferentes industrias que permiten el desarrollo material de la sociedad.

No obstante, la industria minera enfrenta desafíos relacionados con diversos temas, entre los cuales se destaca la sostenibilidad. Identificar las tendencias de investigación hacia la transición de una minería ambientalmente responsable, necesariamente conlleva a estudiar esta actividad desde el ámbito de la sostenibilidad, ámbito que integra, además, aspectos tecnológicos, sociales, económicos y técnicos.

El presente estudio busca contribuir desde la revisión de literatura especializada a la identificación y comprensión de los diversos resultados de investigación en el sector minero desde el ámbito de la sostenibilidad, buscando reconocer y promover un conocimiento que contribuya a una industria sostenible y ambientalmente responsable. A continuación, se desarrollan los principales tópicos que se tendrán como base teórica del estudio.

2.1 Minería y sostenibilidad

El acelerado desarrollo de la sociedad moderna evidencia la presión que la minería extractivista ejerce sobre los recursos naturales. Como lo indican Bebbington y Bury (2010), las tensiones actuales en el sector minero se originan en tres aspectos fundamentales: la correcta gestión de la actividad minera, la gestión del agua y el desarrollo local. Un desafío adicional implica la falta de comunicación entre los sistemas de conocimiento del sector minero y los de las comunidades locales.

La literatura especializada encontrada en el presente estudio, evidencia que, en territorios, como Colombia, Venezuela, Ecuador, México, Perú, Guatemala, Chile, donde se concentran actividades de extracción minera enfrentan grandes desafíos en términos de sostenibilidad, lo cual genera conflictos sociales relacionados con el desarrollo de dicha economía extractivista. Aspecto que pone de manifiesto la necesidad de generar una discusión académica que permita identificar desde la literatura científica los aportes del sector minero al desarrollo local estableciendo los factores determinantes en la sostenibilidad de la industria minera.

De este modo, se evidencia una tendencia hacia la adopción de tecnologías y prácticas para reducir los impactos ambientales en la industria minera. Las empresas han implementado iniciativas para mitigar los impactos adversos sobre el suelo y los recursos hídricos, desarrollando dinámicas novedosas mediante programas comunitarios y ambientales. Estas iniciativas pueden incluir el respaldo a la producción agrícola, la mejora de la educación y el desarrollo de infraestructuras, entre otras (Bebbington y Bury, 2010).

Sin embargo, tales iniciativas pueden no tener el impacto esperado, tal y como lo refieren Bebbington y Bury (2010), los efectos sobre la sostenibilidad de iniciativas desarrolladas por las empresas mineras son variados, por ejemplo, los autores mencionan que una importante empresa transnacional minera tuvo que reconsiderar su programa de sostenibilidad, debido que, tras quince años de operaciones, se evidenció un impacto bastante limitado en la mejora de la sostenibilidad en las comunidades del área de influencia de la compañía.

La agenda 21 promovida por la Organización de las Naciones Unidas definió el desarrollo sostenible como la base para la gestión de los impactos humanos en el ambiente, lo cual propició que las políticas de los países mineros y las estrategias de la industria se enfocaran hacia la protección ambiental y la integración del desarrollo económico y social (Vargas, 2004).

En este contexto, en los últimos años, se han observado avances significativos en la industria minera global, en cuanto a sus objetivos de responsabilidad social, lo cual abarca la integración de las comunidades locales desde las fases iniciales de planificación de las operaciones, la implementación de procesos estratégicos en la gestión de la salud y la promoción de una cultura de seguridad industrial efectiva (Vargas, 2004).

Por tanto, es posible establecer que la minería sostenible implica la implementación de estrategias diseñadas para reducir al mínimo las repercusiones ambientales y sociales derivadas de la actividad extractiva. En este sentido, Vargas (2004), afirma que la responsabilidad social corporativa es fundamental en el establecimiento de acuerdos que en el largo plazo generen un impacto positivo en el ámbito social y ambiental del territorio intervenido.

De acuerdo con Carmona et al. (2017), la correcta gestión ambiental no solo es un aspecto de cumplimiento legal, sino que diferentes grupos de interés han motivado al sector minero a incluirlo como un instrumento que aporta a la competitividad del negocio, incorporándolo como un componente integral de la sostenibilidad minera. En tal aspecto, es importante destacar que para la pequeña minería la inclusión del concepto de sostenibilidad representa un valor agregado para sus productos y sin duda, para las grandes empresas se relaciona con el cumplimiento de compromisos adquiridos con los grupos de interés.

Por otra parte, los marcos normativos y las políticas enfocadas hacia la sostenibilidad, algunos tales como leyes de protección ambiental, normas técnicas, certificaciones y convenios globales, juegan un papel fundamental en guiar las prácticas mineras hacia estándares más responsables, propendiendo por el uso racional de los recursos, por una mayor responsabilidad social que contribuya con el desarrollo local y regional y a la consolidación de una minería

tendiente a la modernización y tecnificación de las operaciones, buscando una mayor eficiencia ambiental de los procesos (Vargas, 20004).

Por último, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto a continuación, se presentan las acciones de sostenibilidad a abordar en la actividad minera, las cuales se identificaron en la literatura especializada consultada y la encontrada en el presente estudio.

2.2 Acciones de sostenibilidad en minería

En la actualidad se evidencia que el compromiso con la conservación de la biodiversidad se ha convertido en un componente fundamental del desarrollo sostenible para el sector minero, reconociendo cada vez más el papel crucial que juegan las empresas, los gobiernos y la sociedad civil en el desarrollo de una minería sostenible (Consejo Internacional de Minería y Metales - ICMM, 2013). En el presente tópico se abordarán tendencias referentes a acciones de sostenibilidad en minería.

Rehabilitación de Ecosistemas y Responsabilidad Ambiental: La rehabilitación de ecosistemas afectados por la minería es una prioridad creciente. Esto incluye aspectos, tales como, la restauración de la vegetación, la gestión de residuos mineros y la protección de recursos hídricos.

El Plan de Rehabilitación de las áreas afectadas por la actividad minera, como componente esencial del proyecto minero, debe incluir la identificación de los impactos ambientales, junto con las medidas mitigadoras o correctoras correspondientes. Además, debe contemplar un plan de rehabilitación del entorno alterado, un plan de seguimiento y control, y un presupuesto destinado a la gestión ambiental (Perdomo, 2023).

Esta perspectiva subraya la responsabilidad tanto de los empresarios como de los gobernantes de planificar y ejecutar acciones que remedien o mitiguen los efectos adversos de la minería. Por lo tanto, es imperativo que toda operación minera concluida garantice la rehabilitación del medio ambiente degradado (Perdomo, 2023).

La planificación adecuada del cierre de minas, la restauración ecológica de paisajes mineros degradados y la rehabilitación de ecosistemas afectados son áreas cruciales para mitigar los impactos a largo plazo de la minería. La implementación de prácticas de restauración ecológica puede restaurar la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas, asegurando que los terrenos mineros puedan ser utilizados de manera sostenible en el futuro (Jones y Smith, 2020).

Responsabilidad Social Corporativa (RSC) en empresas

mineras: La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) ha tomado un papel central en las operaciones mineras. Las empresas en una tendencia en aumento están adoptando políticas que les permitan articularse con las comunidades locales. Trabajos de investigadores como el de Jenkins y Yakovleva (2006), destacan que una RSC efectiva puede mejorar las relaciones comunitarias y asegurar la licencia social para operar en un determinado territorio, lo cual es estratégico para la realización a largo plazo de las operaciones mineras.

En este sentido, es importante destacar que la noción de sostenibilidad incluye el desarrollo económico, protección ambiental y cohesión social. Aspectos a lograrse en la industria minera, a través, del compromiso con la mejora ambiental y socioeconómica continua (Jenkins y Yakovleva, 2006). Lo cual se logra con inversión en Ciencia, Tecnología e Investigación, generando conocimiento que contribuya al avance en la discusión académica de la explotación de los bienes comunes, mal llamados “recursos naturales”, dónde más que la generación de riqueza, debe primar la búsqueda de alternativas que contribuyan a la conservación del suelo, de la biodiversidad y del tejido social.

En muchas ocasiones la oposición social a la actividad minera se basa en el amplio conocimiento científico generado sobre los efectos negativos que trae esta actividad a un territorio, razón por la cual la industria minera tiene un alto compromiso social con el desarrollo de conocimiento que le permita transitar hacia una industria más sostenible. Al respecto, como indican Jenkins y Yakovleva (2006), la RSE es un marco conceptual útil para considerarse en el ámbito corporativo en relación a las partes interesadas.

Gestión de Residuos y Economía Circular: La gestión de residuos es un factor determinante en la minería sostenible, llevando a la industria minera a desarrollar métodos para la reutilización y reciclaje de residuos mineros, lo cual permite promover una economía circular dentro de la industria. Estudios de autores como Lenis et al. (2023), han examinado la viabilidad de reutilizar residuos de la minería para la fabricación de materiales de construcción, lo que no solo contribuye a reducir el impacto ambiental, sino que también aporta valor económico a los residuos generados (Lenis et al, 2023).

Los enfoques innovadores para la gestión responsable de los residuos mineros y la conservación de recursos demandan necesariamente avances en la ciencia que permitan perfeccionar las técnicas de tecnologías existentes e impulsar el desarrollo de soluciones que contribuyan realmente a mitigar el impacto ambiental de la actividad minera. En ese sentido, otro estudio como el de Hamraoui et al. (2024), aborda la temática referente al reciclaje de agua, la cual es destacada como una solución fundamental en la conservación del recurso hídrico, además contribuyendo a mitigar riesgos a largo plazo.

Energías Renovables y Eficiencia Energética: Promover un enfoque en el sector minero que incremente de forma significativa su inversión en energías renovables y tecnologías de eficiencia energética en sus operaciones, como por ejemplo, fuentes de energía solar, eólica y geotérmica, contribuirá en la reducción de la dependencia de la industria minera de combustibles fósiles, cambio que no solo disminuye la huella de carbono, sino que también puede reducir costos a largo plazo. Investigaciones como las de Igogo et al. (2021), han mostrado que la adopción de energías renovables en minería es una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de las operaciones mineras (Igogo et al., 2021).

Por otra parte, los minerales extraídos a partir de la actividad minera posibilitarán el desarrollo de tecnologías verdes que apunten a sistemas energéticos eficientes, lo cual evidencia la urgencia de abordar los desafíos asociados con una industria minera ambientalmente responsable. Las tecnologías de energía renovable dependen de la extracción de aproximadamente 30 minerales prioritarios (USAID, 2021).

De acuerdo con el informe de la US Agency for International Development – USAID (2021), existen estudios exhaustivos sobre las proyecciones de oferta y demanda de minerales, pero pocos estudios se han centrado en los desafíos y oportunidades de desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética, lo cual podría aumentar dramáticamente los impactos negativos asociados a las acciones mineras, entendiendo que la actividad minera se caracteriza por la diversidad de intereses de varios actores en cadenas de valor complejas y globales.

Automatización, Digitalización y Analítica Avanzada en la Minería: La implementación de tecnologías ha permitido a las empresas mineras mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, minimizar el impacto ambiental, mejorar la seguridad y generar valor al proyecto. La transición hacia una actividad minera sostenible necesariamente requiere la integración de procesos de automatización, digitalización y analítica avanzada, lo cuales otorgan herramientas que optimizan y brindan parcialmente una independencia a la operación (Torres et al., 2021).

Nuevas tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial o el aprendizaje automático, no solo optimizan los procesos de extracción, sino que también contribuyen en toda la etapa del proceso minero, desde la explotación, extracción, hasta el procesamiento y transporte de minerales.

Investigadores como la de Torres et al. (2021), han destacado cómo la implementación de estas herramientas contribuye en la productividad y la sostenibilidad de las operaciones mineras, a través, del control de operaciones, modelamiento geológico, planeamiento de minas, levantamiento topográfico por drones y análisis de minerales, optimizando de esta forma la productividad, rentabilidad y seguridad en la industria minera (Torres et al., 2021).

3. Procedimiento metodológico

Esta investigación se concibe a partir del análisis del perfil de las publicaciones realizadas en los últimos 4 años con respecto a las tendencias de sostenibilidad ambiental en la industria minera en el período de tiempo 2020 a 2024. Para la recolección de datos en el presente estudio se tomaron fuentes de alta relevancia académica, teniendo como base la realización de una investigación bibliográfica.

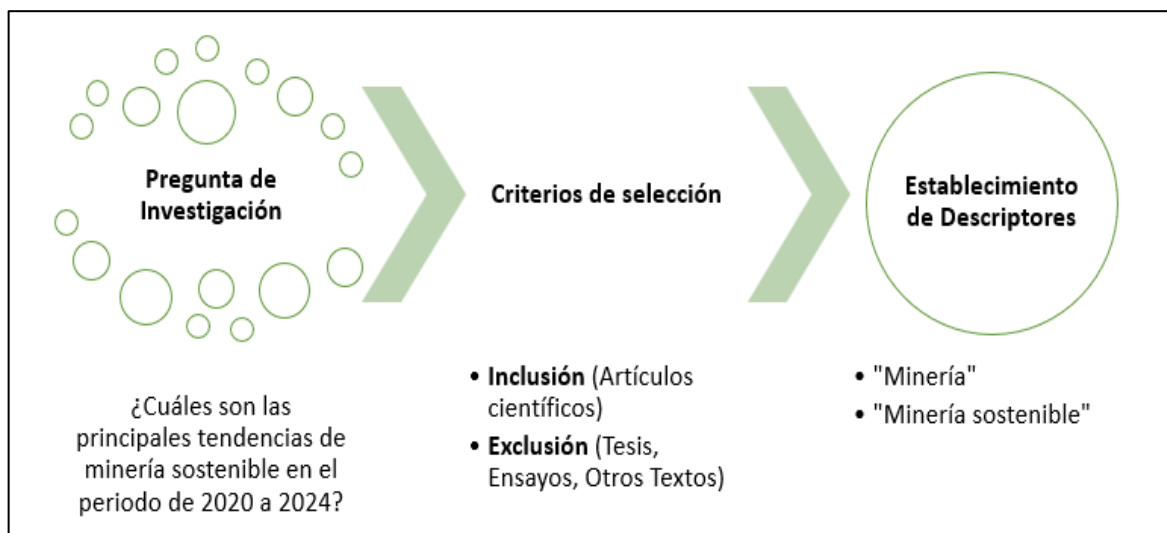
La investigación bibliográfica se puede definir como la recopilación de documentos disponibles sobre un tema específico, que contienen información, ideas, datos y evidencia escrita desde un punto de vista particular. Esta recopilación permite evaluar de manera eficaz los documentos seleccionados en relación con la investigación que se pretende desarrollar (Hart, 1998).

Para el mencionado propósito se parte de una revisión sistemática de literatura, la cual es definida por Cronin et al. (2008), como una investigación exhaustiva que, a diferencia de una revisión tradicional o narrativa, utiliza un enfoque más riguroso para revisar la literatura en una temática específica. Razón por la que la descripción metodológica de la recuperación de los documentos cobra importancia en el presente apartado.

En este contexto, es importante describir el proceso de recuperación de los estudios incluidos en la presente revisión. La Figura 1 muestra los aspectos más relevantes del proceso metodológico empleado.

Figura 1

Proceso Metodológico Revisión Sistemática de Literatura



Nota: Elaboración propia.

Como se evidencia en la figura anteriormente presentada, inicialmente, se formuló la pregunta orientadora que guió la investigación hacia la identificación de las tendencias en minería sostenible durante el periodo 2020-2024. En este sentido, vale resaltar que la identificación de estas tendencias es un proceso estratégico que permite establecer y analizar los resultados de diversas investigaciones en el sector minero desde una perspectiva de sostenibilidad. Este enfoque no solo facilita la comprensión de los avances y desafíos en el ámbito minero, sino que también promueve la generación de conocimiento orientado a optimizar las prácticas en la industria minera, contribuyendo a su alineación con principios de responsabilidad ambiental y desarrollo sostenible.

Posterior a la pregunta de investigación, se definieron criterios de selección y se establecieron los descriptores empleados en la búsqueda. Cabe destacar que la revisión sistemática de la literatura se llevó a cabo entre el 3 de mayo y el 28 de junio de 2024. La búsqueda de los documentos se realizó en base de datos como, Google Académico, Proquest, Web of science y Science Direct, obteniendo un total de 231 artículos encontrados. En la tabla 1,

presentada a continuación, se evidencia el descriptor utilizado, las bases de datos seleccionadas y la cantidad de documentos encontrados en relación a cada uno de los descriptores y repositorios utilizados.

Tabla 1

Descriptor utilizado, base de datos y número de trabajos encontrados.

Descriptor	Base de datos	Número de trabajos encontrados Minería	Número de trabajos encontrados Minería sostenible
Minería	Google académico	67	
Minería sostenible	Google académico		1
Minería	Proquest	81	
Minería sostenible	Proquest		3
Minería	Web of Science	32	
Minería sostenible	Web of Science		12
Minería	ScienceDirect	12	
Minería sostenible	ScienceDirect		10
Minería	Scopus	12	
Minería sostenible	Scopus		1
Total		204	27
		231	

Nota: Datos de la investigación, 2024.

Una vez recuperados los 231 documentos, estos se revisaron teniendo en cuenta aspectos, tales como: el período de publicación (2014-2020), artículos que respondieran a la temática a abordar y la precisión de los temas tratados, permitiendo de esta forma definir con claridad los tópicos centrales del referencial teórico, de los que se realizó un desarrollo con el objetivo de alcanzar una investigación clara y acertada.

De los 231 artículos encontrados, 50 estudios fueron seleccionados. Selección basada en la revisión de aspectos como el título, resumen, palabras claves e introducción. Por último, se destaca que los descriptores incluidos necesariamente debían aparecer en los tópicos revisados de los artículos seleccionados, principalmente en el título y el resumen del documento. Al respecto, los criterios de inclusión y exclusión permitieron analizar de forma más sucinta el panorama reciente de las investigaciones científicas en el campo de estudio de interés para el presente artículo.

4. Presentación de resultados

El presente estudio muestra el conocimiento generado referente a las principales tendencias de minería sostenible en el período de 2020 a 2024 en la literatura científica, lo cual contribuye con investigadores y formuladores de políticas públicas para tomar decisiones con un sustento teórico.

En este contexto, la generación de conocimiento desde el ámbito académico es de vital importancia en el sector minero, esto si se busca demostrar con argumentos científicos a los grupos de interés como la academia, la comunidad y organismo gubernamentales que la actividad minera se encuentra de forma constante en proceso de transición y que es posible realizarla bajo parámetros de sostenibilidad.

Al respecto, es importante destacar que lograr que las economías mineras apoyen la sostenibilidad implica enfrentar diversos retos, cuyas características subrayan la importancia de integrar la investigación básica y aplicada, junto con el conocimiento producido de forma conjunta con actores locales (Bebbington y Bury, 2010). Este enfoque necesariamente debe integrar los principios del desarrollo sostenible, abarcando la administración responsable de los recursos, la disminución de emisiones contaminantes, la restauración de los ecosistemas afectados y el fomento del bienestar en las comunidades locales.

A continuación, se presenta el contexto de las publicaciones analizadas, los estudios encontrados y la discusión de las investigaciones más relevantes incluidas en la presente revisión.

4.1 Contexto de las publicaciones analizadas

En la tabla 2, presentada a continuación se muestran los hallazgos de la investigación, identificando los artículos encontrados en relación a los autores, el título y la temática central; además, ampliando el panorama de cada uno de los estudios, los cuales son identificados con un número (No) para posteriores análisis.

Tabla 2

Estudios seleccionados.

No	Autor(es)	Título	Asunto principal/Objeto de estudio
1	Oswaldo Aduvire	Gestión ambiental en minería: certificaciones para iniciar y Finalizar la actividad minera	Identificación de los instrumentos de gestión ambiental de mayor implicancia en el desarrollo de actividades mineras.
2	Wiliam Aguilar Baldosea, Isabel Cristina López Ramírez, Leydi Yhona Chávez Mosquera, Leyser Rengifo Murillo, Julio Cesar Halaby Guerrero	Efecto de la minería en macro invertebrados acuáticos de la Ciénaga plaza seca, Atrato, chocó	Determinar el efecto de la contaminación minera aurífera en la ciénaga Plaza Seca, cuenca Media del Atrato, Chocó, Colombia.
3	José Rafael Lozada, Lionel Hernández, Yrma Andreina Carrero	Amenazas en el Parque Nacional Canaima y áreas protegidas por la minería indígena ilegal en Venezuela	Análisis de la minería indígena ilegal y sus consecuencias, en el Parque Nacional Canaima y otras áreas protegidas
4	Francisco Alonso Requielme Paladines, Nancy Marlene Vera Zhuma	La minería a gran escala y su incidencia en la recaudación tributaria: El caso de la Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador	Examina la incidencia de la explotación minera a gran escala en la provincia de Zamora Chinchipe sobre la recaudación tributaria nacional en Ecuador
5	Gabriela Carolina Higido Ferrer, Camilo Andrés Baquero Castilla, Karina Paola Torres Cervera, Adriana Carolina Royero Ibarra, Yecid Gafit Acevedo Duran	Eficiencia del uso de las especies como (Gramíneas y Fabáceas) en suelos disturbados por minería de arcilla en la mina "El cielo" corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar	Implementar de diferentes especies para evaluar la eficiencia de estas en suelos disturbados por la minera de arcilla.
6	Claudia X. Martínez, Edier H. Pérez, José A. Gall	Impacto de la minería de oro sobre las principales propiedades del suelo en el noroccidente del departamento del Cauca, Colombia.	Determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos seleccionados en sitios explotados con actividades mineras, se determinaron los cambios respecto a un suelo no intervenido (Estrato Alto), la calidad del suelo y su potencial uso agrícola.
7	Gloria Catalina Gheorghe	Modelo en la prevención y mitigación de explosiones de metano y polvo de carbón en la minería subterránea	Presentar un modelo de gestión con el propósito de prevenir y mitigar las explosiones subterráneas en la minería de carbón.
8	Luz Adriana Muñoz Duque, Mauricio Alexander Arango, Mauricio Hernando Bedoya Hernández	La formalización neoliberal en minería. Ruta de precarización de los pequeños mineros en Colombia	Comprender el proceso de formalización minera en Colombia como una estrategia de gobierno
9	Mariana Ramírez Herrera, Eduardo Rodríguez Gutiérrez, Alicia Monserrath Gutiérrez Mauricio, Juan Armando Flores de la Torre	Minería: salud en riesgo y pobreza en Fresnillo, Zacatecas	Ofrecer una aproximación a los efectos de los metales pesados en la salud humana, presentar evidencia sobre esta contaminación en espacios agrícolas, así como destacar la escasa relación que existe entre la minería como actividad económica y el bienestar producido sobre las comunidades donde se asienta.
10	O'Niell R. Tedrow, Peter F. Lee	Uso del Arroz Silvestre (Zizania palustris L.) en Bioensayos a Escala de Arrozal para Evaluar el Uso Potencial de Agua Influenciada por la Minería para Riego.	Evaluar el uso potencial de aguas con niveles elevados de sulfato influenciados por la minería con concentraciones bajas o no detectables de metales para el riego de arroz silvestre, una especie de gran importancia cultural y económica.
11	Ángel Alejandro Brugés Burgos, Danny Daniel López Juvinao	Innovación tecnológica en la minería de arcilla del departamento de la Guajira, Colombia	Analizar la innovación tecnológica existente en la minería de arcilla en los municipios de Riohacha y Manaure en La Guajira, Colombia

12	Sarah Doyle, Linda Figueroa	Eliminación de molibdeno del agua afectada por la minería mediante sorción en lodos ricos en manganeso	Evaluar el potencial de eliminación de molibdeno mediante sorción en lodos ricos en manganeso de una planta de tratamiento de agua de mina que utiliza cal para eliminar metales a Ph 10.
13	Haijun Xie, Jingrui Li, Zhiqiang Li, Sheng Li	Análisis de las características de influencia y efecto de corrección del método de corriente continua en la detección avanzada de la cavidad de la calzada en minería	Se analizó el principio de detección avanzada, que está basado en el modelo físico esférico, a través de métodos de "análisis comparativos" y "simulados" a través del software Cosmol Multiphysics.
14	Paloma Ortega Arriaga, Carlos Andrés López Morales, Karina Caballero Güendulain, Alfredo Ortega Rubio	Minería versus conservación de servicios ecosistémicos: el caso de Sierra La Laguna	Ofrece una valoración económica de la pérdida de servicios ecosistémicos asociada a la operación de un proyecto minero a tajo abierto en la Reserva de la Biósfera Sierra La Laguna
15	Hao Tan, Xuexiang Yu, Mingfei Zhu, Shenshen Chi, Chao Liu, Hengzhi Chen	Estudio sobre deformaciones de amplia gradiente en áreas de minería con base en tecnología InSAR-PEK	Para resolver la deformación de amplia gradiente en las áreas donde no está disponible la información SAR (del inglés Synthetic Aperture Radar), se propuso un método que combina el modelo PIM Exponent Knothe (PEK) y tecnología InSAR (InSAR-PEK) para pronosticar la subsidencia inducida por la operación y obtener dinámicamente la deformación de amplia gradiente.
16	Danny Daniel López Juvinao, Fabio Orlando Moya Camacho, Carlos Alberto Socarras Bertiz	Estrategias ambientales para el control de los impactos en la minería de arcilla en la Guajira, Colombia	proponer estrategias para controlar los impactos ambientales generados por la minería de arcilla en La Guajira, Colombia.
17	Josaly Moreno, Beatriz Barraza Amador, Laura Osorno Bedoya, Nelson Walter Osorio Vega, Ana Medina Buelvas	Efecto de la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal en suelos degradados de minería aluvial	Mejorar el crecimiento y la adaptación de <i>Leucaena leucocephala</i> en suelos degradados por minería aurífera de aluvión del municipio de Istmina, Chocó-Colombia, mediante la inoculación con <i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Mortierella</i> sp. y <i>Rhizoglosum fasciculatum</i> .
18	Efraín Casadiego Quintero, Wilmar Gómez Ríos, Edgar R. Monroy, Jeniffer L. Sanchez Londoño	La minería de oro sostenible: implicaciones del uso de los residuos como agregado para hormigón	En este estudio, por medio de la petrografía y la difracción de rayos X se encontró un contenido importante de sílice proveniente de cuarzo, plagioclasas y micas. El contenido moderado a alto de cuarzo y la selección granulométrica influyen en los buenos resultados de la resistencia a la compresión para utilizar el agregado como base o subbase o para concreto.
19	Héctor Javier Fuentes López, Cindy Carolina Ferrucho Parra, William Alexander Martínez González	La minería y su impacto en el desarrollo económico en Colombia	Se examina el proceso histórico de la minería en Colombia, con el ánimo de comprender su trascendencia y su correlación espacial con variables sociales.
20	Jeffer Darío Buitrago Betancourt	Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá	Se analizan algunos efectos e impactos ambientales derivados del incremento coyuntural de la producción carbonífera en el páramo El Rabanal durante la última década.
21	Cristina Espinosa	Conocimiento como causa y medio de resistencia a la minería de gran escala: casos heurísticos del Ecuador	Argumentar cómo la producción de conocimiento se ha convertido en una práctica central en los procesos de resistencia y oposición a proyectos mineros de gran escala.
22	Roger Merino, Carlos Quispe Dávila	¿Héroes, víctimas o villanos? Defensores ambientales, minería y securitización de la Amazonía peruana	Analizar el rol ambivalente de la securitización: por un lado, como un componente esencial del desarrollo económico al resguardar las actividades que ayudan a reducir la pobreza; y, por otro lado, como fundamento para proteger a personas especialmente expuestas a riesgos en sus derechos humanos, individuales y colectivos.

23	David Madrigal González, Valeria Guarneros Meza	Responsabilidad social empresarial en la minería de Cananea, Sonora, y Cerro de San Pedro, San Luis Potosí	El propósito de este trabajo es la elaboración de un marco conceptual comparativo que ayude a entender cómo, en México, la responsabilidad social empresarial se entreteje con el paradigma extractivista.
24	Yordán Rodríguez Ruíz, Elizabeth Pérez Mergarejo, Walter Alejandro Barrantes Pastor	Procedimiento para la prevención de desórdenes musculoesqueléticos: aplicación en trabajos de minería subterránea	La incidencia y prevalencia de los desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral es en la actualidad uno de los desafíos más importantes que enfrenta el sector minero. En este trabajo se propone un procedimiento para prevenir estas enfermedades, sustentado en la participación activa de los trabajadores.
25	Orlando Gahona Flores	Valoración de la calidad en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile	El objetivo de esta investigación es generar nuevo conocimiento sobre la valoración de la calidad en la cadena de suministro de la minería del Cobre localizada en la región de Antofagasta en Chile, a través de la información obtenida en la aplicación de una encuesta a directivos de las compañías mineras.
26	Jorge Eliecer Mariño Martínez, Rubén Darío Chanci Bedoya, Angélica Julieth González Preciado	Emisiones de metano de la minería del carbón a cielo abierto en Colombia	Se analiza la medición realizada por Colombia respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por las emisiones de la minería de carbón.
27	Jeffer Darío Buitrago Betancourt	Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá	Analizar algunos efectos e impactos ambientales derivados del incremento coyuntural de la producción carbonífera en el páramo El Rabanal durante la última década.
28	Danilo Arturo Velilla Avilez, Oscar Jaime Restrepo Baena	Oportunidades para la formulación de un modelo de negocio sostenible en torno a la minería aurífera informal a pequeña escala	Este artículo se enfoca en trabajar bajo la línea de la sostenibilidad en proyectos de minería informal de oro a pequeña escala, específicamente en Colombia.
29	Shuilin Wang, Songyong Liu, Fanping Meng	Diagnóstico de fallas de engranajes y cojinetes para equipos de minería de carbón en entornos geológicos complejos	Propone un nuevo método de investigación del mecanismo de diagnóstico de fallas en engranajes y cojinetes para equipos de minería de carbón.
30	Sara Lucía Domínguez Rave, Laura Cristina Torra Ruiz, Lady Rocío Romero Bejarano, Yolanda Lucía López Arango	Valoración participativa de impactos socioambientales y sanitarios en minería de oro: Buriticá (Antioquia), Colombia	Conocer la valoración que habitantes de Buriticá, Antioquia, hacen de los impactos socioambientales y sanitarios por la actividad minera aurífera en la región.
31	Wilson Vilela Pincay, Marbelle Espinosa Encarnación, Ana Bravo González	La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro	Identificar el nivel de participación social en el cuidado y preservación por la naturaleza.
32	Orlando Gahona Flores	Criterios de selección de proveedores sostenibles en la cadena de suministro de la minería del cobre en Chile	Identificar los criterios para la selección de proveedores sustentables en la cadena de suministro de la minería del cobre ubicada en la región de Antofagasta en Chile, a través de la información obtenida de la aplicación de una encuesta a ejecutivos de todas las empresas mineras de la región de Antofagasta.
33	Jorge Armando Tarra Almarino, Oscar Jaime Restrepo Baena	Diversificación económica y creación de contenido local en el marco del desarrollo de la minería aurífera en Colombia	Se hace una revisión corta y precisa del ambiente para hacer negocios en Colombia con base al estudio "Doing Business" realizado anualmente por el Banco mundial, donde se mide el comportamiento de las economías con relación a la facilidad de desarrollan los proyectos minero-auríferos.
34	Claudia Catalina Estrada Montoya, Narmer Fernando Galeano Vanegas, Gloria María Restrepo Franco	Evaluación de la remoción de cianuro y metales pesados en efluentes líquidos provenientes del beneficio de oro de la pequeña minería, mediante adsorción con carbón activado y peróxido de hidrógeno en Segovia, Antioquia	Evaluar la remoción de cianuro y metales pesados, en efluentes líquidos del beneficio de oro, mediante la adsorción con carbón activado y peróxido de hidrógeno.

35	Adrián Raúl Restrepo Parra	La elusiva seguridad humana del Tratado de Libre Comercio Colombia-Canadá. La minería en el municipio de Buriticá, Antioquia	Este artículo aporta elementos de evaluación del Tratado de Libre Comercio (TLC) Colombia-Canadá a partir del estudio de la implementación de la minería en el municipio de Buriticá, departamento de Antioquia, donde la empresa Continental Gold dirige la explotación de una de las minas de oro más importantes del país.
36	Nicolás Pardo, Guillermo Penagos, Mauricio Correa y Esperanza López	Desarrollo de morteros de bajo impacto ambiental a partir de residuos sílico-aluminosos activados alcalinamente del sector minero	Se generaron morteros a partir de residuos mineros activados alcalinamente.
37	Sol`ene Rey Coquais	Experiencia territorial y la creación de normas globales: Cómo la mesa de diálogo de Quellaveco cambió las reglas del juego de la regulación minera en Perú.	Analizar La experiencia de Quellaveco en relación a un nuevo estándar para la gobernanza minera.
38	Fernando Campos Medina, Ivan Ojeda Pereira, Joao Guzmán, Valentina Rodillo Aspillaga, Javier Santibáñez Ferreira	¿Qué investigamos cuando investigamos sobre relaves mineros en Chile? Un enfoque interpretativo	Este artículo describe el estado actual de la investigación sobre depósitos de relaves en Chile a través del análisis de publicaciones académicas.
39	Jorge Salem, Khyati Thakkar, Yash Amonkar, Nicolas Maennling, Upmanu Lall, Luc Bonnafous	Un análisis de Perú: ¿Está el agua impulsando los conflictos mineros?	Este artículo utiliza Perú como estudio de cas para explorar los factores que impulsan el conflicto social con un énfasis particular en el papel del acceso al agua.
40	Aaron Malone, Linda Figueroa, Weishi Wang, Nicole M. Smith, James F. Ranville, David C. Vuono, Weishi Wang, Francisco D. Alejo Zapata, Lino Morales Paredes, Jonathan O. Sharp, Christopher Bellona	Dinámicas de transición del procesamiento con mercurio al procesamiento con cianuro en la minería de oro artesanal y de pequeña escala: Consideraciones sociales, económicas, geoquímicas y ambientales.	Este artículo utiliza un enfoque transdisciplinario que combina las ciencias naturales y sociales para identificar los impactos del procesamiento del oro con mercurio y cianuro.
41	Rosa J. Spalding	Las políticas de implementación: movimientos sociales y la implementación de políticas mineras en Guatemala	Este estudio examina la manera en que los movimientos antiminereros guatemaltecos se relacionaron con la burocracia estatal durante el proceso de implementación de políticas.
42	PERLA SHIOMARA DEL CARPIO OVANDO	Factores psicosociales de riesgo de la minería artesanal del ámbar de Simojovel, Chiapas	Este artículo tiene como objetivo identificar y analizar factores psicosociales de riesgo de la minería artesanal del ámbar que realiza la población tsotsil de Simojovel, Chiapas, México.
43	Marcelo Jara ruiz caroline StaMM	Emociones y activismo ambiental en la gran minería. Análisis de un proyecto de minería de cobre en la Región Metropolitana de Santiago, Chile	El artículo aborda, desde la perspectiva afectiva de los activistas ambientales, el conflicto asociado a un proyecto minero, cuyos impactos de gran escala en un contexto de cambio climático y escasez hídrica, generan una amenaza ambiental para los habitantes de la Región intervenida.
44	Germán Santacruz de León, Daniel Jacobo Marín, Gabriela Rodríguez Cárdenas	La minería metálica y sus efectos en el acceso al agua en comunidades rurales de Zacatecas, México. Una perspectiva centrada en la desigualdad.	El artículo analiza la extracción de minerales metálicos en Zacatecas (México) y sus efectos en el acceso al agua en comunidades rurales.
45	Ángel Carmelo Prince Torres	La minería ilegal como mecanismo de vulneración a los derechos ambientales en Latinoamérica durante tiempos de pandemia	Este artículo analizó la vulneración de derechos ambientales por causa de la minería ilegal en pandemia dentro de Latinoamérica.

46	Weichi Chen, Wenping Li, Zhi Yang, Qiqing Wang	Análisis de la variación del nivel freático inducida por la minería y los beneficios potenciales para la vegetación ecológica: un estudio de caso de la mina de carbón Jinjitan en el área minera de Yushenfu, China	En este estudio, se investigaron la variación del nivel del agua freática y sus efectos ecológicos mediante pruebas in situ y teledetección.
47	Levi Campos, Cristian Mardones	Una evaluación económica de los daños a la salud y a la agricultura causados por la minería del cobre en Chile.	Este estudio evalúa el daño ambiental causado por la minería del cobre en los cuerpos de agua superficiales en Chile.
48	Matthew M. Jones, Robert L Runkel, Diane M. McKnight	¿Remediar o no? Identificación de fuentes en un arroyo con drenaje ácido de mina, Warden Gulch, Colorado	Se implementó un estudio sinóptico de la calidad del agua en Warden Gulch, un arroyo de cabecera afectado por metales que provienen tanto de fuentes naturales como de fuentes impactadas por la minería.
49	Faith Furaha Mlewa, Mary Nelima Ondiaka,	Contaminación del Agua Superficial Cerca de una Zona de Minería de Oro Artesanal: el Caso de la Mina Macalder, Kenia	Este estudio investigó la contribución de las actividades de minería y procesamiento de oro artesanal en la mina Macalder, Kenia, a los niveles de hierro (Fe), cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn) y níquel (Ni) en el agua potable del cercano arroyo Macalder y el río Kuja.
50	Georgios Louloudis, Christos Roumpos, Eleni Mertiri, Francis Pavloudakis, Konstantinos Karalidis	Datos e Índices de Teledetección para Apoyar la Gestión del Agua: Un Enfoque Holístico Post-minería para la Minería de Lignito en Grecia	Esta investigación propone un enfoque integrado para evaluar el perfil hidrológico de una gran y compleja zona de minería a cielo abierto de lignito, basado en datos de teledetección.

Nota: Datos de la investigación, 2024.

La tabla 1 realizada a partir de los trabajos seleccionados es relevante para mostrar el panorama, a investigadores interesados en esta área, sobre los artículos identificados en el presente estudio. De forma relacionada, en la tabla 2, se presenta el origen de las publicaciones identificando las instituciones a la cual pertenecen los autores, el lugar de donde proviene la publicación en términos geográficos y la revista científica donde se publicaron los artículos de investigación incluidos en la presente revisión.

Tabla 2

Instituciones, lugar y revista científica de publicación.

No	Institución	Lugar	Revista científica
1	Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)	Perú	Revista de medio ambiente minero y minería – Bolivia
2	Centro de investigación en biodiversidad y habita Universidad Tecnológica del Chocó	Colombia	Revista politécnica – Colombia
3	Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR)	Venezuela	Revista Geográfica Venezolana
4	Universidad Técnica Particular de Loja-Ecuador	Ecuador	La Revista Económica (RVE) de Ecuador
5	Universidad Popular del Cesar	Colombia	Revista politécnica – Colombia
6	Universidad del Cauca	Colombia	Suelos ecuatoriales – Colombia
7	Servicio Nacional de Aprendizaje SENA	Colombia	Revista Ruta Minera – Colombia
8	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista CS – Colombia

9	Universidad Autónoma de Zacatecas	México	Revista RELIGACIÓN de Ciencias Sociales y Humanidades - Ecuador
10	Vermilion College	Estados Unidos	Mine Water and the Environment -Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA)- Estados Unidos
11	Universidad de La Guajira, Colombia	Colombia	Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas – Interciencia –Venezuela
12	Escuela de Minas de Colorado	Estados Unidos	Mine Water and the Environment -Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA)- Estados Unidos
13	Facultad de Geología y Medio Ambiente, Universidad de Ciencia y Tecnología de Xi'an	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
14	Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México	México	Economía, Sociedad y Territorio -México
15	Escuela de Geomática, Universidad de Ciencia y Tecnología de Anhui, Huainan	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
16	Universidad de La Guajira, Colombia	Colombia	Revista de Ciencia y Tecnología de las Américas - Interciencia – Venezuela
17	Universidad Libre	Colombia	Revista Acta Agronómica -Colombia
18	Fundación Universitaria Agraria de Colombia	Colombia	Revista Inventum - Colombia
19	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Colombia	Revista Apuntes del CENES – Colombia
20	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	Revista INTROPICA – Colombia
21	Instituto de Ciencias Sociales Ambientales y Geografía de la Universidad de Friburgo	Alemania	Revista de Ciencias Sociales ICONOS
22	Universidad del Pacífico - Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Perú	Revista Uniandes Latin American Law Review – Colombia
23	El Colegio de San Luis, San Luis Potosí - Montfort University, Leiceste	México	Revista de Ciencias Sociales DESACATOS -México
24	Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana, ABSP Consultoría y Capacitación EIRL	Colombia	Revista DUAZARY – Universidad del Magdalena Colombia
25	Universidad de Antofagasta	Chile	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
26	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Colombia	Revista DYNA -Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
27	Universidad Nacional de Colombia	Colombia	Revista INTROPICA – Colombia
28	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín	Colombia	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
29	Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Minería y Tecnología de China	China	Earth Sciences Research Journal UNAL – Colombia
30	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista Facultad Nacional de Salud Pública - Universidad de Antioquia - Colombia
31	Universidad Técnica de Machala	Ecuador	Revista Internacional de Administración
32	Universidad Católica del Norte	Chile	Revista Ingeniería e Investigación – Universidad Nacional de Colombia
33	Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín	Colombia	BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
34	Universidad de Manizales, Universidad Católica de Manizales	Colombia	Revista DYNA -Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
35	Universidad de Antioquia	Colombia	Revista de Estudios Políticos - Universidad de Antioquia Colombia
36	Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Antioquia	Colombia	Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio – España
37	Escuela Doctoral en Geografía de París	Francia	The Extractive Industries and Society - Reino Unido
38	Universidad de Chile	Chile	The Extractive Industries and Society - Reino Unido
39	Universidad de Cumbria	Estados Unidos	Resources policy - Reino Unido

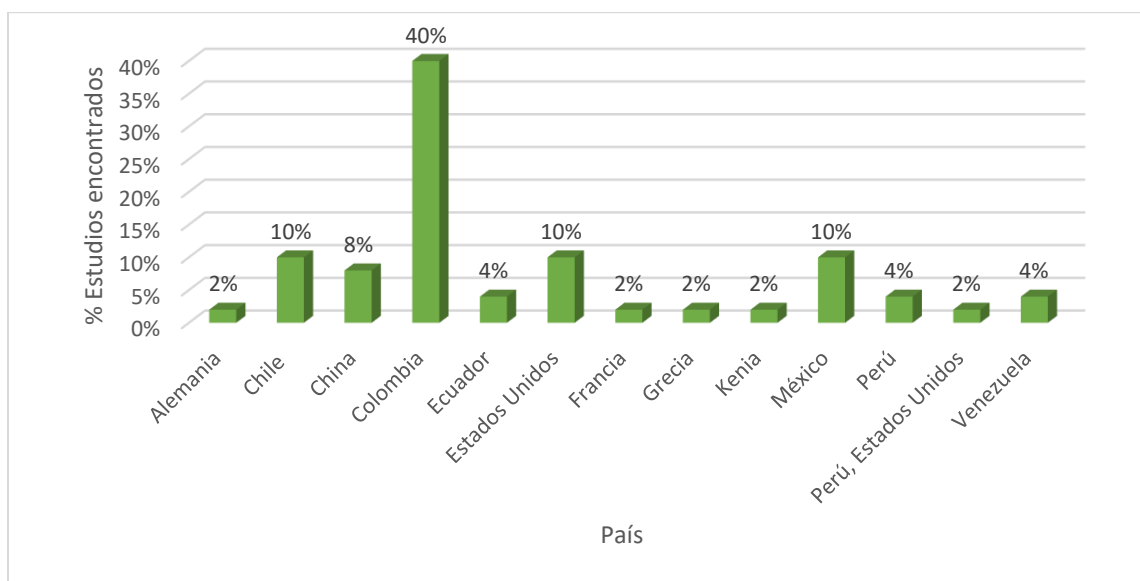
40	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela de Minas de Colorado	Perú, Estados Unidos	Science of the Total Environment
41	Departamento del Ciencias Políticas, Universidad de Paul	Estados Unidos	The Extractive Industries and Society
42	Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra	México	Revista Culturales – México
43	Universidad Central de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile	Chile	Revista Austral de Ciencias Sociales - Chile
44	El Colegio de San Luis, México, Universidad de Jaén, España	México	Revista Población y Sociedad - Argentina
45	Instituto Universitario Pedagógico "Monseñor Rafael Arias Blanco"	Venezuela	Revista Justicia & Derecho - Chile
46	Universidad de Minería y Tecnología, China	China	Revista de hidrogeología - Estados Unidos
47	Universidad de Concepción, Chile	Chile	Latin American Research Review - Estados Unidos
48	University of Colorado	Estados Unidos	Mine Water and the Environment
49	Taita Taveta University	Kenia	Mine Water and the Environment
50	University of Western Macedonia, Kozani, Greece	Grecia	Mine Water and the Environment

Nota: Datos de la investigación, 2024.

Entre la información identificada en la anterior tabla, es importante destacar las revistas científicas en las que se encontraron estudios referentes a las principales tendencias de minería sostenible, entre las cuales se encuentran, la Revista de la Asociación Internacional de Agua de Minas (IMWA) de Estados Unidos, BOLETIN DE CIENCIAS DE LA TIERRA y la Revista DYNA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, entre otras. La importancia del panorama anteriormente identificado aporta información relevante para investigadores respecto a revistas científicas de altos estándares interesadas en la generación de conocimiento en el ámbito de la minería y la sostenibilidad. Por otra parte, la figura 2 presenta el porcentaje de estudios encontrados en relación al lugar de donde proviene la publicación en términos geográficos.

Figura 2

Estudios realizados por país



Nota: Datos de la investigación, 2024.

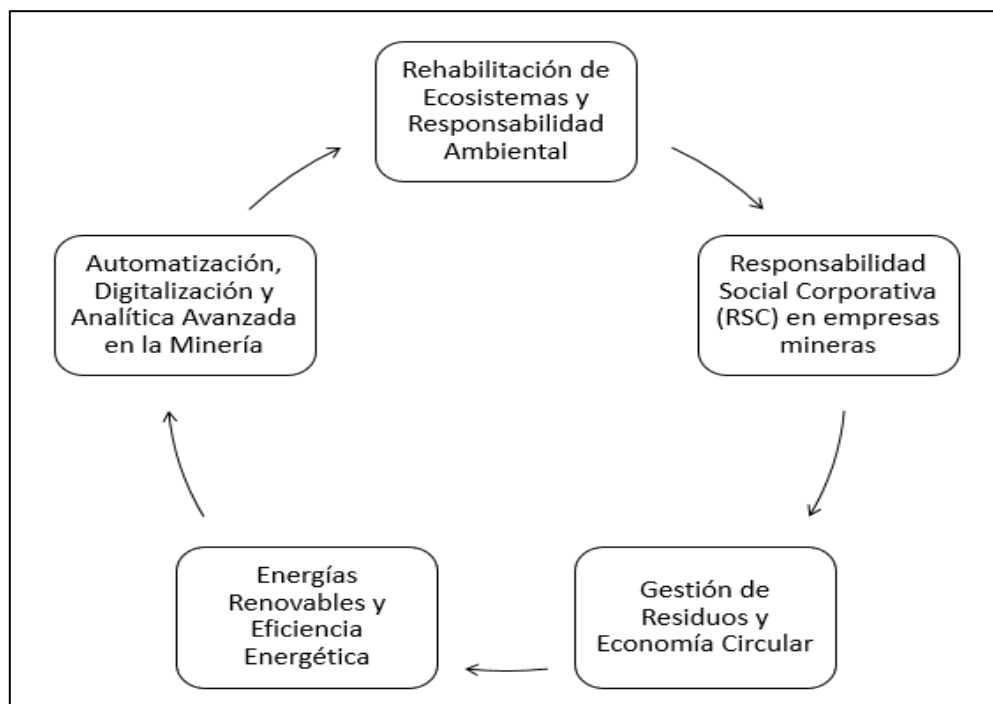
De acuerdo a la figura 2, es posible destacar que entre los mayores porcentajes de los lugares de donde provienen los estudios realizados, se encuentra Colombia con un 40%, Chile, Estados Unidos y México en igual proporción con un 10%. Una vez realizada una presentación descriptiva de los estudios encontrados, es preciso analizarlos con respecto a las acciones de sostenibilidad en la industria minera identificadas en el referencial teórico.

4.2 Acciones de sostenibilidad en minería

De los estudios seleccionados en la presente investigación se analizarán los más relevantes teniendo como punto de referencia las acciones de sostenibilidad desarrolladas con anterioridad, las cuales se identificaron a partir de la literatura encontrada y otros documentos adicionales, sin embargo, vale aclarar que el análisis no está sujeto de manera estricta a las mencionadas acciones, esto por la diversidad y cantidad de estudios identificados.

Figura 3

Acciones de sostenibilidad identificadas en la industria minera



Nota. Elaboración propia.

La figura 3 muestra las tendencias de sostenibilidad evidenciadas en la industria minera a partir de la revisión de fuentes de alta relevancia académica como artículos de investigación. Las mencionadas tendencias son desarrolladas a continuación, analizando el panorama de los estudios encontrados.

Rehabilitación de Ecosistemas y Responsabilidad Ambiental:

Autores como Aduvire (2023), Perdomo (2023) y Jones y Smith (2020), establecen que acciones de sostenibilidad en la minería, como la rehabilitación de ecosistemas y la responsabilidad ambiental, son fundamentales para minimizar los impactos negativos de la actividad minera. En el mismo sentido, Aduvire (2023), plantea que, en la actualidad, el desarrollo de proyectos mineros sostenibles requiere la planificación desde la apertura hasta el cierre de la operación, así

como la implementación de procesos innovadores que valoren y aprovechen los residuos mineros como recursos potenciales. Esta orientación promueve el uso racional de los recursos naturales y reduce el volumen de residuos, presentando también oportunidades de negocio y mejorando el control ambiental. El mismo autor indica que la legislación ambiental impulsa el uso de técnicas innovadoras como la bioingeniería y la biorremediación, esenciales para equilibrar la actividad minera, conservar los ecosistemas y rehabilitar terrenos.

Al respecto, autores como Torres et al. (2023), indican que la implementación de especies como, Gramíneas, Fabáceas y Leguminosas aportan macronutrientes (calcio, magnesio, potasio, fósforo y azufre) y micronutrientes (cobre, zinc, boro y hierro) al suelo disturbado por la minería de arcilla, mejorando en este caso las condiciones iniciales. Lo que evidencia que la interacción de este tipo de especies es pertinente en el proceso de remediación del suelo. Lo anteriormente planteado es un precedente importante a ser evaluado por minerías diferentes a la mencionada por el autor.

La responsabilidad ambiental es un aspecto al que no solo se encuentra sujeto, la minería a gran escala, sino que también debe ser un compromiso a asumir por parte de las comunidades y sus miembros en el desarrollo de actividades mineras artesanales y a pequeña escala, en este contexto Lozada et al. (2020), evidencian los impactos de la minería ilegal indígena a través de un estudio realizado en el Parque Nacional Canaima en Venezuela y áreas cercanas, en el cual los autores concluyen que la minería no es sostenible para estas comunidades y podría llevar a un auto-etnocidio, debido que la adopción de métodos de minería comercial destructivos como el uso del mercurio en el proceso, perjudican significativamente el entorno. No obstante, autores como Martínez et al. (2022), indican que la actividad minera artesanal no muestra un efecto significativo en las propiedades de los suelos.

La variedad de resultados en los estudios encontrados, con relación a las actividades mineras artesanales y a pequeña escala, sugiere abordar las particularidades de cada caso a la luz de la experiencia científica disponible para el avance del conocimiento.

Responsabilidad Social Corporativa (RSC) en empresas

mineras: Este es un punto clave al cual las empresas mineras deben responder con estrategias efectivas que permitan mitigar y contrarrestar los daños medioambientales causados por la actividad extractivista. Daños documentados por autores como Aguilar et al. (2022), quienes al investigar el impacto de la minería aurífera en los macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga Plaza Seca, en la cuenca media del río Atrato, Chocó, Colombia, evidenciaron que la actividad minera influye significativamente en las variables fisicoquímicas del agua, reflejándose en la baja diversidad de macroinvertebrados.

Estudios similares, como los realizados por Ramírez et al. (2023), Fuentes et al. (2021) y López et al. (2023), evidencian que la minería genera daños en materia de salud, profundiza la situación de pobreza de las comunidades aledañas a las minas, degrada el suelo, transforma el paisaje y emite material particulado, lo cual evidencia la urgencia en el compromiso de la industria minera por la aplicación de estrategias ambientales que contribuyan en la orientación de un enfoque sostenible.

En cuanto a los beneficios económicos de un proyecto minero, autores como Ortega et al. (2023), subrayan que dichos beneficios son principalmente para agentes externos al territorio explotado. No obstante, Requelme y vera (2024), muestran en su estudio que, aunque la minería a gran escala afecta de forma significativa la recaudación de impuesto, generando beneficios económicos y empleos, es muy importante equilibrar dichos beneficios con la gestión sostenible de recursos y la mitigación de impactos ambientales y sociales, esto debido que los costos ambientales impactan por generaciones los territorios y comunidades intervenidas.

Los estudios anteriormente presentados, evidencian la urgencia de una RSC de la industria minera que genere un desarrollo económico sostenible, teniendo como eje la protección ambiental y la conservación del tejido social del territorio intervenido con fines de explotación minera.

Gestión de residuos y economía circular: La gestión de residuos es un factor determinante en la minería sostenible. Al respecto, estudios como el de Tedrow y Lee (2022), son un referente para el uso potencial de aguas influenciadas por la minería, en el estudio el agua se utilizó para el riego de una variedad específica de arroz, los resultados evidenciaron que el cultivo creció y se desarrolló sin efectos adversos significativos. El estudio sugiere que el uso de aguas influenciadas por la minería puede ser una opción viable para el riego agrícola.

De forma similar, Doyle y Figueroa (2022), en su estudio denominado “Eliminación de molibdeno del agua afectada por la minería mediante sorción en lodos ricos en manganeso” concluyen que el uso de lodo rico en manganeso puede ser una solución efectiva para tratar el agua contaminada por la minería, minimizando el impacto ambiental asociado con el tratamiento de aguas residuales mineras. Otras investigaciones como las realizadas por Pardo et al. (2020) y Casadiego et al. (2021), estudian las implicaciones del uso de los residuos de minería de carbón y oro como una alternativa para generación de materia prima en el ámbito de la construcción.

Es importante resaltar que la economía circular para la gestión de residuos del sector minero, se presenta como una acción de sostenibilidad que puede generar soluciones efectivas en la reutilización de residuos mineros como materia prima, aspecto para el cual se encuentra una amplia literatura científica la cual se puede tomar como base en el desarrollo de futuras investigaciones.

Energías Renovables y Eficiencia Energética: En relación con la acción de sostenibilidad sobre Energías Renovables y Eficiencia Energética, el presente estudio no encontró literatura especializada relevante que contribuya a dicha acción. Este resultado sugiere la necesidad para futuros estudios de investigación de formular descriptores más específicos que faciliten la identificación de literatura relacionada con este aspecto. No obstante, vale destacar que de acuerdo con el informe de la US Agency for International Development – USAID (2021), existen pocos estudios centrados en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética.

Automatización, Digitalización y Analítica Avanzada en la Minería: El estudio realizado por Xie et al. (2023), demuestra la aplicación de la automatización, digitalización y analítica avanzada en la minería a través de varias técnicas integradas. Los autores utilizaron simulaciones avanzadas y modelos físicos esféricos en el software COMSOL Multiphysics para automatizar y digitalizar el proceso de detección de cuerpos geológicos anormales en las minas. Lo cual permitió realizar análisis comparativos y simulaciones numéricas detalladas para evaluar cómo las cavidades en la calzada afectan la precisión de la detección. Además, se emplearon métodos analíticos avanzados para calcular un coeficiente de corrección basado en los datos de resistividad aparente, mejorando así la exactitud y resolución de las detecciones geológicas.

Otro estudio donde se combinan la automatización, digitalización y analítica avanzada en minería es en el de los autores Tan et al. (2023), quienes abordaron la deformación del terreno en áreas mineras utilizando un modelo matemático automatizado (PEK) para predecir el colapso del terreno, integrando datos digitales de imágenes satelitales (InSAR) que permiten medir con precisión los desplazamientos del terreno. Estos datos se analizaron mediante técnicas avanzadas de simulación y estadística para ajustar y validar las predicciones del modelo, mejorando así la precisión y eficiencia del monitoreo de la deformación del terreno en las áreas mineras.

Estudios como los presentados anteriormente muestran un panorama sobre la tendencia de la automatización, digitalización y analítica avanzada en el sector minero, aspecto clave para el avance hacia una industria minera sostenible.

4.3 Sostenibilidad y minería a pequeña escala:

El presente ítem, podría ser considerado como una acción de sostenibilidad emergente a partir de la revisión de las investigaciones seleccionadas en el presente estudio, acción que, sin duda, se encuentra alineada con las identificadas en el referencial teórico. En este contexto, se

destacan diversos autores y puntos de vista que pueden ser de interés para los investigadores enfocados en esta línea de estudio.

Al respecto, Velilla y Restrepo (2021), exploran las oportunidades para crear un modelo de negocio sostenible en el contexto de la minería aurífera informal a pequeña escala en Colombia, los autores examinan la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) desde una perspectiva empresarial, identificando los desafíos y proponiendo un modelo enfocado en la sostenibilidad y formalización del sector. La propuesta tiene como objetivo contribuir a la formalización del sector minero, mejorar las condiciones laborales y ambientales, y promover el desarrollo económico sostenible, esto teniendo como base la política impulsada por el Gobierno Nacional de Colombia para la formalización minera a nivel nacional. No obstante, los autores resaltan los desafíos de los complejos contextos sociales de los territorios en los que se ejecutan las actividades mineras.

Por otra parte, Muñoz et al. (2023), afirma que la política estatal para el proceso de formalización de la minería artesanal como empleo minero en Colombia, empobrece y precariza a quienes se han dedicado ancestralmente a la extracción minera, dado que, al forzar a los sujetos a formalizarse, estos no tienen la capacidad de asumir los costos y consecuencias de hacerlo. De forma contraria, autores como Tarra y Restrepo (2021), determinan que Colombia posee un gran potencial en recursos naturales, en este contexto, minerías como la aurífera podría jugar un papel determinante en la reactivación económica de una región. Los mismos autores señalan que esto es posible lograrse teniendo como base una actividad minera controlada y supervisada en el marco de un sistema de gobernanza efectivo que garantice un correcto aprovechamiento de los recursos naturales.

Los estudios referentes a la minería de pequeña escala, evidencian el impacto de esta actividad en un desarrollo económico equilibrado que aporte al avance sostenible de la industria minera, contexto en el cual el marco normativo debe propender por una minería responsable.

5. Conclusiones

La minería sostenible representa una evolución necesaria en la industria minera, integrando avances tecnológicos y marcos normativos que promueven prácticas más responsables y beneficios duraderos para la sociedad y el medio ambiente. La colaboración de actores como investigadores, comunidades, reguladores y empresas es esencial para avanzar hacia una minería sostenible. Tarra y Restrepo (2021) indican, que la desarticulación de dichos actores, puede generar como consecuencia un ambiente adverso para el desarrollo de la actividad minera.

Uno de los actores con mayor protagonismo son las comunidades que habitan los territorios en los cuales interviene la industria minera. Como lo indican Salem et al. (2021), inicialmente las empresas y gobiernos deben involucrar a las comunidades afectadas por la minería en la etapa inicial del proceso abordando sus preocupaciones y generando confianza, debido a que en la generación de un conflicto la empresa minera pierde la licencia social para operar, lo que genera un ambiente hostil que puede llevar incluso a la obstaculización del desarrollo de proyectos mineros en un territorio.

Al respecto Bebbington y Bury (2010), determinan que involucrar a las comunidades aledañas a las minas y utilizar métodos de seguimiento y evaluación comprensibles para ellos, podría contribuir en disminuir la desconfianza y la incertidumbre, ayudando así a resolver algunas fuentes de conflicto. Iniciativa que debe surgir de forma previa a la intervención de la empresa minera al territorio, como una forma de generar confianza y no como una acción para solucionar conflictos.

En este sentido, se evidencia la necesidad de generar un conocimiento científico de una forma participativa, lo cual genere una mayor confianza e integración en el territorio intervenido por la extracción minera, contribuyendo de esta forma a mitigar los conflictos sociales generados alrededor de la actividad minera y a la preservación del medio ambiente.

Por otra parte, las acciones de sostenibilidad como las identificadas en el presente estudio son fundamentales para la transición hacia una minería sostenible. Estas tendencias no solo

permiten una operación más amigable con el medio ambiente, sino que también mejoran las relaciones con las comunidades locales y posibilitan el uso futuro de los terrenos afectados para nuevos fines. En el mismo sentido, la legislación ambiental dirigida a la minería a gran escala y a la minería artesanal debe propender por impulsar el uso de técnicas innovadoras que contribuyan a equilibrar la actividad minera, conservar los ecosistemas y rehabilitar terrenos.

Con respecto a los hallazgos de la presente revisión, se recomienda que futuras investigaciones en el campo de la minería y la sostenibilidad se enfoquen en líneas como energías renovables y eficiencia energética, centrando los estudios en los desafíos y oportunidades del desarrollo asociado con el aumento de la minería debido a la transición energética. Adicional, vale señalar que el presente estudio se establece como una base teórica que puede ser enriquecida, ampliada y enfocada espacialmente, con el objetivo de analizar las tendencias de minería sostenible a nivel local.

Para finalizar, es preciso enfatizar en que la decisión de conservar, proteger o intervenir un ecosistema estratégico en un determinado territorio no puede tener como base únicamente un análisis de costos y beneficios económicos, debido que los impactos ambientales pueden tener efectos irreversibles en los ecosistemas (Buitrago, 2020).

No obstante, la relación costos - beneficios económicos y mitigación de impactos ambientales que aporten a la preservación de ecosistemas no es necesariamente una dicotomía, sino que puede ser una relación sinérgica, que impulse a la industria minera hacia procesos de innovación que contribuyan en una operación más eficiente y sostenible, generando de esta forma ventajas competitivas que les permitan mejorar su rentabilidad y sostenibilidad en el largo plazo.

Referencias bibliográficas

Aduvire, Osvaldo. (2023). *Gestión ambiental en minería: Certificaciones para iniciar y finalizar la actividad minera*. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 8(1), 32-41.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522023000100004&lng=es&tlng=es.

- Aguilar-Baldosea, W., López- Ramírez, I. C., Chávez- Mosquera, L., Rengifo Murillo, L. y Halaby- Guerrero, J. C. (2022). *Efecto de la minería en macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga plaza seca, Atrato, Chocó. Revista Politécnica*, 18(35), 9–23. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a1>
- Bebbington, AJ y Bury, JT (2010). *Minería, instituciones y sostenibilidad: desencuentros y desafíos. Antropológica del Departamento de Ciencias Sociales*, XXVIII (28), 53-84.
- Buitrago, J. D. (2020). *Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyacá. Intropica*, 15(1), 42–54. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/3426>
- Carmona-García, Uriel, Cardona-Trujillo, Harold, & Restrepo-Tarquino, Inés. (2017). *Gestión ambiental, sostenibilidad y competitividad minera. Contextualización de la situación y retos de un enfoque a través del análisis del ciclo de vida. DINA*, 84 (201), 50-58. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60326>
- Casadiego, E., Gómez, W., Monroy, E. y Sanchez, J. (2021). *La minería de oro sostenible: implicaciones del uso de los residuos como agregado para hormigón. Revista Inventum*, 16 (31), 71-77. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.71-77
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM). (2013). *Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad. ICMM.* <https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/05/Gu%C3%ADa-de-buenas-pr%C3%A1cticas-para-la-mineria-y-la-biodiversidad.pdf>
- Cronin, P., Ryan, F. y Coughlan, M. (2008). *Undertaking a literature review: a step-by-step approach. British Journal of Nursing*. 17,1, 38-43.
- Doyle, S., Figueroa, L. (2022). *Removal of Molybdenum from Mining-Impacted Water by Sorption onto Manganese-Rich Sludge. Mine Water Environ* 41, 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10230-022-00893-4>
- Fuentes, H., Ferrucho, C., y Martínez, W. (2021). *La minería y su impacto en el desarrollo económico en Colombia. Apuntes del Cenes*, 40(71). 189 - 216. <https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n71.2021.12225>
- Hamraoui, L., Bergani, A., Ettoumi, M., Aboulaich, A., Taha, Y., Khalil, A., Neculita, CM y Benzaazoua, M. (2024). *Towards a Circular Economy in the Mining Industry: Possible Solutions for Water Recovery through Advanced Mineral Tailings Dewatering. Minerales*, 14(319) <https://doi.org/10.3390/min14>
- Hart, C. (1998) *The literature review in research. En C. Hart (Ed.) Doing a literature review (1-25). Sage Publications.*

- Igogo, T., Awuah-Offei, K., Newman, A., Lowder, T., Engel-Cox, J. (2021). Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches. Applied Energy, 300, 117375. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117375>.*
- Jenkins, H., y Yakovleva, N. (2006). Corporate social responsibility in the mining industry: Exploring trends in social and environmental disclosure. Journal of Cleaner Production, 14(3-4), 271-284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.10.004>*
- Jones, K., y Smith, J. (2020). Ecological Restoration of Degraded Mining Landscapes. Environmental Management Journal, 32(4), 211-225.*
- Lenis, J. A. et al. (2023), "Desarrollo de morteros de construcción con geopolímeros obtenidos a partir de suelos degradados por la minería en El Bajo Cauca Antioquia," Rev. UIS Ing., vol. 22, (3), 17-11. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023002>.*
- López, D. D., Moya, F. O., Socarras, C. A. (2023). Estrategias ambientales para el control de los impactos en la minería de arcilla en la Guajira, Colombia. Revista de Ciencia y Tecnología de América, 48 (4), 197-203. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8946149>*
- Lozada, J. R., Hernández, L., y Carrero, Y. A. (2020). Amenazas en el Parque Nacional Canaima y áreas protegidas por la minería indígena ilegal en Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 61(2), 380-395.*
- Martínez, C. X., Pérez, E. H., y Gallo, J. A. (2022). Impacto de la minería de oro sobre las principales propiedades del suelo en el noroccidente del Departamento del Cauca, Colombia. Suelos Ecuatoriales, 52(1 y 2), 43-50. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p43-50_155](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p43-50_155)*
- Minería Sostenible de Galicia. (2022). Economía mundial y el sector minero. Minería Sostenible. <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20representa%20alrededor%20del,de%20servicios%20y%20apoyo%20directo>*
- Ministerio de Minas y Energía, & Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Guía Minero Ambiental de Exploración. República de Colombia.*
- Muñoz-Duque, Luz Adriana, Arango-Tobón, Mauricio Alexander, y Bedoya-Hernández, Mauricio Hernando. (2023). La formalización neoliberal en minería. Ruta de precarización de los pequeños mineros en Colombia. CS, (39), 61-83. <https://doi.org/10.18046/recs.i39.5446>*

- Ortega-Arriaga, P., López Morales, C. A., Caballero Güendulain, K., & Ortega-Rubio, A. (2023). *Minería versus conservación de servicios ecosistémicos: El caso de Sierra La Laguna. Economía, Sociedad y Territorio*, 23(72), 467-491. <http://dx.doi.org/10.22136/est20231802>
- Pardo, N., Penagos, G., Correa, M., y López, E. (2020). *Desarrollo de morteros de bajo impacto ambiental a partir de residuos sílico-aluminosos activados alcalinamente del sector minero. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 62 (1). 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.09.003>
- Perdomo-Millán, Anabel. (2023). *El desarrollo sostenible socioambiental y económica en la rehabilitación minera. Minería y Geología*, 39(1), 55-64. Epub 31 de marzo de 2023. Recuperado en 06 de junio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122023000100055&lng=es&tlng=es.
- Ramírez-Herrera, M., Flores de la Torre, JA, Rodríguez Gutiérrez, E., & Gutiérrez Mauricio, AM (2023). *Minería: salud en riesgo y pobreza en Fresnillo, Zacatecas. Religación*, 8 (36), <https://doi.org/10.46652/rgn.v8i36.1068>
- Requelme Paladines, F. A., y Vera Zhuma, N. M. (2024). *La minería a gran escala y su incidencia en la recaudación tributaria: El caso de la Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. Revista Económica*, 12(1), 55-56. <https://doi.org/10.54753/rve.v12i1.1860>
- Salem, J., Amonkar, Y., Maennling, N., Lall, U., Bonnafoos, L., y Thakkar, K. (2021). *An analysis of Peru: Is water driving mining conflicts? Resources Policy*, 74, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.09.010>
- Tan, H., Yu, X., Zhu, M., Chi, S., y Chen, H. (2023). *Study on Large-gradient deformation of mining areas based on InSAR-PEK technology. Earth Sciences Research Journal*, 27(2), 191-201. <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.107056>
- Tarra, J. A. y Restrepo, O.J. (2021). *Economic diversification and creation of local content within the framework of gold mining development in Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra*. 50. 64-73. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.92933>
- Tedrow, O.R., Lee, P.F. (2022). *Use of Wild Rice (Zizania palustris L.) in Paddy-Scale Bioassays for Assessing Potential Use of Mining-Influenced Water for Irrigation. Mine Water Environ* 41, 938–953 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10230-022-00908-0>
- Torres, Cervera, K. P., Higido-Ferrer, G. C., Baquero-Castilla, C. A., Royero-Ibarra, A. C., y Acevedo-Duran, Y. G. (2023). *Eficiencia del uso de las especies como (Gramíneas y Fabáceas) en suelos disturbados por minería de*

- arcilla en la mina "El cielo" corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar. Revista Politécnica, 19(38), 38–53.*
<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a3>
- Torres Guerra, J. A., Mejía Cáceres, D., Moreyra Ramos, P., Oré Grados, J., y Oscoco Barrientos, S. (2021). *Geometalurgia y el futuro de la minería digital en el Perú. Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, 24(47), 163-179.* <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20661>
- US Agency for International Development - USAID. (2021). *MINING AND GREEN ENERGY: INTERNATIONAL DEVELOPMENT CHALLENGES AND OPPORTUNITIES.* <https://www.land-links.org/document/mining-and-the-green-energy-transition-review-of-international-development-challenges-and-opportunities/>
- Vargas Pimiento, E. (2004). *La política minera para el desarrollo sostenible. Boletín de Ciencias de la Tierra, (16), 121–134.* <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/95577>
- Velilla, D. A. y Restrepo, O. J. (2021). *Oportunidades para la formulación de un modelo de negocio sostenible en torno a la minería aurífera informal a pequeña escala. Boletín de Ciencias de la Tierra, (49), 24-36.* <https://doi.org/10.15446/rbct,n49.93106>
- Xie, H., Li, J., Li, Z., & Li, S. (2023). *Analysis of the influence characteristics and correction effect of the mine direct current method in advance detection of roadway cavities. Earth Sciences Research Journal, 27(1), 183-190.* <https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.86211>