

5. Potencial de circularidad en el sector minero de México



GABRIELA MUÑOZ MELÉNDEZ¹

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.365.05>

Resumen

La minería es crítica para la economía de las naciones porque es un generador de empleos, un atractor de inversiones y una fuente de divisas; la importancia del sector se acrecentará por su papel de proveedor de minerales críticos para la transición energética. Sin embargo, la industria minera también tiene un largo registro de impactos ambientales y sociales. México es un país con una larga tradición minera, produce 53 tipos de minerales: 11 metálicos y 32 no metálicos. Por 13 años ha sido el mayor productor de plata en el mundo. Empero, 1 609 millones de hectáreas de operaciones mineras se llevan a cabo dentro de 62 de las 142 áreas naturales protegidas y, dado que la actual gestión de desechos mineros se basa en una Economía lineal, los impactos ambientales y conflictos socioambientales son amenazas reales; que en no pocas ocasiones se han concretado en desastres. Este documento tiene como objetivo identificar el avance en la implementación de prácticas circulares en el sector minero nacional; mediante una revisión bibliográfica de documentos académicos y un análisis de contenido de los reportes de sustentabilidad de corporaciones mineras operando en México. Los resultados muestran que hay un alto potencial de adopción de estrategias de circularidad en el sector minero mexicano. Los esfuerzos para cerrar procesos en la industria minera son aún incipientes e inciertos sobre si guiarán a la circularidad efectiva del sector.

¹ Doctora en Ciencias Ambientales. Docente en el Colegio de la Frontera Norte, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8898-5048>

Palabras clave: *circularidad, economía circular, minería, México, análisis de contenido.*

Introducción

Alrededor del mundo, la industria minería tiene una mala imagen por la negligencia con la que se ha tratado a las comunidades donde opera y por la larga historia de desastres ambientales que ha provocado (Nurmi, 2017). A través de la colección de datos históricos (1915-2021) sobre fallas en presas de relaves obtenidos de las siguientes agencias internacionales: la Comisión Internacional de Grandes Presas y el Programa Ambiental de la Naciones Unidas (al 2001), el Centro de Ciencia Ciudadana (a partir de 1915), y la Información Mundial sobre Energía (desde 1960), se identificaron 366 accidentes en las lagunas de jales, liberando 279 114 891 m³ de relaves, que se desplazaron 4 868.15 km y arrebataron la vida a 3 043 personas a nivel mundial (García et al., 2024).

Las cifras antes citadas abonan a la suspicacia del público en general acerca de la necesidad del sector en el futuro, empero el creciente rechazo de la minería no se traduce en una reducción significativa del consumo de productos derivados de la industria minera tales como celulares, infraestructura energética, automóviles, paneles solares, turbinas de aerogeneradores y materiales para la construcción. La demanda de productos derivados del sector minero no parece sino aumentar debido a la transición energética, en particular la requisición de los denominados metales y minerales críticos tales como cobre, níquel, cobalto, litio y tierras raras.

En 2023 la demanda de litio se incrementó en 30%, en tanto que el aumento de los requerimientos de níquel, cobalto, grafito y tierras raras creció entre 8 a 15%. Se ha estimado que la demanda de minerales críticos para tecnologías de energía limpia se duplicará al 2030 bajo el actual escenario de políticas climáticas en el mundo; sin embargo, debajo un escenario de compromisos anunciados donde se cumplirían todos los compromisos climáticos por gobiernos e industrias, la requisición se triplicaría para 2030 y cuadruplicaría para 2040, con el litio como el metal crítico que más crecería por el alza de vehículos de batería eléctrica; y con el cobre

como el metal de mayor producción para atender las necesidades del sistema eléctrico. En un entorno de emisiones cero, el requerimiento de grafito se cuadruplicará para 2040, en tanto que la demanda de níquel, cobalto y tierras raras se duplicará (EIA, 2024).

Ante la importancia actual de la minería como cimiento de la economía de los países por ser generador de empleos, ingresos, y divisas. Además, por la creciente relevancia futura del sector en la transición energética, las tecnologías limpias y el desarrollo bajo en carbono. Y finalmente porque aún no se ha encontrado sustitutos mediante el reciclaje que reemplacen enteramente la extracción primaria (Allwood, 2014). La industria minera sigue y seguirá siendo relevante por lo que de manera urgente debe mejorar sus prácticas tales como el uso extensivo de tierra, agua y energía, la alta generación de residuos, su baja resiliencia climática, y la falta de licencia social para operar en las comunidades locales.

Se han buscado modelos de sustentabilidad para el sector minero mientras se mantiene la rentabilidad financiera, con respeto ambiental y responsabilidad social; es así como surge el concepto de minería verde (*green mining*), entendido como una gestión integral de indicadores productivos y sostenibles que promueven

la eficiencia en el uso de recursos, agua y energía; la seguridad, inclusión, empoderamiento y calidad de vida de las personas y comunidades; la resiliencia frente al cambio climático; la incorporación de principios circulares, minimizando las emisiones y residuos generados, adoptando crecientemente energías renovables y tecnologías en sus procesos, integrando la digitalización, trazabilidad y verificación por parte de terceros como parte integral de sus procesos, de forma comprometida con la biodiversidad e inclusión de sus territorios, y bajo un modelo de gobernanza transparente, participativo y moderno. (Lucchini et al., 2021, p. 13)

No han faltado las críticas al concepto de minería verde ni la incredulidad generalizada de que el sector pueda volverse sustentable. La noción ha sido calificada de absurda y con el objetivo primordial de hacer un “lavado verde” a un modelo destructivo y que tiene una alta probabilidad de conducir a transiciones injustas e inequitativas. Si realmente se persigue una

transición justa se debe apostar por transformaciones fundamentales en todos los niveles de la economía y la sociedad, y eso involucra directamente al sector básico de las cadenas de valor de múltiples productos: la industria minera.

Alrededor del mundo hay iniciativas para impulsar el desarrollo e implementación de la minería verde, entre las cuales destacan la iniciativa de Minería Climáticamente Inteligente del Banco Mundial (World Bank, 2025), que busca identificar potenciales prácticas climáticamente inteligentes a lo largo de la cadena de valor desde la minería hasta la disposición; esta iniciativa descansa en cuatro pilares: (1) Soluciones bajas en/cero carbono, (2) Resiliencia y adaptación, (3) Economía circular y (4) Oportunidades de Mercado, que son atravesados por tres temas transversales: (a) buena gobernanza, (b) participación inclusiva y (c) innovación y capacitación.

Otra idea es la del Consejo Internacional de Minería y Metales (International Council of Mining and Metals) (ICMM, 2024), que busca reforzar requisitos ambientales y sociales entre sus miembros usando un proceso de implementación que incluye validación en sitio, garantías creíbles y transparencia, a través de la adopción de 10 principios: (1) Ética de negocios, (2) Toma de decisiones, (3) Derechos humanos, (4) Administración de riesgo, (5) Salud y seguridad, (6) Desempeño ambiental, (7) Conservación de la biodiversidad, (8) Producción responsable, (9) Desempeño social y (10) Participación de los interesados.

Debe añadirse que estas iniciativas distan de ser las únicas en la industria, de hecho, hay múltiples estándares y medidas desarrolladas por diversas instituciones, algunas generales otras específicas, que comparan y miden objetiva o subjetivamente las prácticas responsables de las compañías mineras. Además, existen múltiples estudios y reportes sobre la implementación de tecnologías y adopción de prácticas de minería verde, un buen recuento es el de Onifade et al. (2024), donde se reportó que las tecnologías y prácticas verdes sostenidas en integración tecnológica y con un marco regulatorio apropiado, mejoran el desempeño ambiental del sector al mismo tiempo que aumentan la eficiencia económica, entre dichas mejoras se contaron las reducciones de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y consumo energético a la vez que se optimizó la gestión de residuos mineros. En este estudio se presentaron ejemplos de tecnologías

de minería verde ya operando en EUA, Canadá, China, Australia, India, Nigeria, Suecia, Reino Unido y Sudáfrica.

En el caso de Latinoamérica y el Caribe (LAC), en particular Brasil, Chile, Perú, y Colombia, en un estudio se compararon las legislaciones locales que promueven prácticas de minería verde contra estándares internacionales tales como *Towards Sustainable Mining*, *International Finance Corporation*, *Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development*, *Fraser Institute and the Natural Resources Governance Institute* usando el marco conceptual de Gobernanza Ambiental y Social. De esta comparación se derivó una hoja de ruta con 20 intervenciones para que sean implementadas por los gobiernos en dos etapas (una fundacional y la otra de desarrollo) en cinco ejes (Rojas-Hayes, Casas y Sucre, 2023): (1) Eficiencia del uso de recursos, (2) Economía circular, (3) Transición energética, (4) Calidad de vida e inclusión y (5) Trazabilidad, digitalización y transparencia.

En ese estudio se concluyó que hay una vasta oportunidad de mejora en los usos eficiente de agua y energía, la conservación de biodiversidad, la mitigación y adaptación al cambio climático, y una mayor participación comunitaria. Y se reconoció que abrazar principios de economía circular y gestión integral de residuos serían fundamentales en el manejo de relaves, el cierre de minas e impactos ambientales. Por otro lado, y en concordancia, la importancia de la adopción de prácticas circulares en la minería, ha sido resaltada como la forma de atender el inicio de la cadena de valor de la mayoría de los productos y las pérdidas que se presentan en ella (Lebre, Corder y Golev, 2017).

Ante la aparente falta de consideración de una importante nación minera en LAC como México, este documento busca identificar los avances de la adopción de prácticas circulares en su industria minera, por lo cual se inicia presentando el estado del sector, seguida de la explicación de los dos métodos aplicados para identificar tales prácticas: un análisis de contenido de los reportes de sustentabilidad de empresas mineras selectas operando en México, así como un análisis bibliométrico de documentos académicos. Después se presentan y discuten los resultados. Finalmente, se cierra con conclusiones.

El sector minero en México: aspectos económicos, sociales y ambientales

En términos económicos, hacia octubre de 2021, existían 25 702 concesiones mineras vigentes en el país, cubriendo un total de 20 853 731.2 hectáreas (ha) lo que equivale a 10.7% del área total de la nación. Al cierre de 2023, 322 empresas operaban: 165 de participación nacional y 157 de participación extranjera en su capital social; de éstas últimas, los dos capitales más importantes provenían de Canadá o los EE. UU., con 75.8% y 11.5%; respectivamente. Las empresas de capital nacional y extranjero operaban 535 proyectos mineros, 373 eran de compañías extranjeras y 162 de origen nacional.

Los proyectos se ubican primordialmente en Sonora (124), Chihuahua (61), Durango (61) y Zacatecas (34). La participación del sector minero-metalúrgico en el producto interno bruto (PIB) nacional fue del 2.7%, y del 8.6% del PIB industrial. El valor de la producción de metales industriales no ferrosos disminuyó 15.2% y 17.8% para los metales preciosos; los minerales no metálicos se redujeron en 0.1%, y los minerales siderúrgicos en 52.3%. De enero a diciembre de 2023, México registró 36 058 millones de dólares estadounidenses por Inversión Extranjera Directa, esto es 2.2% más que la reportada para el mismo periodo de 2022 y la más alta desde que se tiene registro (AGM, 2024). La relevancia de México en la minería mundial se resume en la tabla 5.1.

Al 2024 se reportaron la presencia de 124 operaciones minero-metalúrgicas de las cuales 53 eran subterráneas, seis mixtas, 31 plantas y 34 fueron minas a cielo abierto, estas últimas generan el 59% del valor de la producción de la minería no petrolera (CEFP, 2024).

En relación con aspectos sociales, las actividades mineras se llevaron a cabo en 690 comunidades de 212 municipios en 24 estados de la República Mexicana, 30 municipios representan el 66.5% del valor total de su 27.0% de producción. El promedio de municipios mineros posee un desarrollo humano alto, y rezago y marginación sociales bajos (Alanís Ortega, 2021). Al 2023, las actividades mineras generaron 416 875 empleos, esta cantidad tuvo una disminución del 0.1% con respecto al año anterior. De este nú-

Tabla 5.1. *La posición de México en la producción mundial de minerales metálicos y no metálicos, 2022-2023*

<i>Producto</i>	<i>Posición de México en la producción mundial</i>	<i>Porcentaje de participación</i>
Minerales metálicos		
Plata	1	27.3
Plomo	3	8.1
Molibdeno	5	10.3
Cadmio	5	4.5
Oro	6	3.7
Minerales no metálicos		
Fluorita	2	32.2
Wollastonia	2	13
Celestita	4	12.2
Diatomita	5	3.91
Barita	6	5.5

Fuente: SGM (2014).

mero de trabajos, 17.9% fueron ocupados por mujeres (74 529) cifra que mostró un aumento de 3.3% en comparación al 2022 (IMSS, 2023). Para 2023 el salario promedio del sector minero-metalúrgico fue de 630.36 pesos, monto superior al promedio nacional de 537.87 pesos y representó un aumento de 11.0% respecto al 2022.

Por otro lado, de acuerdo con el Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL) (2025). En el periodo de 2020 a 2025, había 28 conflictos mineros sucediendo en 29 estados de la república, casi 30% se dieron en Zacatecas seguido de Oaxaca en proyectos que tenían como objetivo extraer oro (en 33% de los casos) seguido de plata (26%). La mayoría de las minas (62%) donde se presentaron los conflictos están actualmente en operación seguidas de aquellas que estaban a punto de cerrar (16%). La mitad de las minas cuyas operaciones tenían asociados conflictos poseían capital canadiense seguida de minas mexicanas (16%). Los impactos sociales que se reportaron fueron sobre todo daños a la salud (16%), seguido de despojo del territorio (9%), represión a la protesta, afectaciones a las viviendas por detonaciones y criminalización de activistas (7%), y hostigamiento, intimidación, desplazamiento forzado, asesinato y falta de consulta (5%).

Finalmente, en relación con los impactos ambientales; 1 609 millones de ha de operaciones mineras se llevan a cabo dentro de 62 de las 142 áreas naturales protegidas, aunque los impactos sobre los ecosistemas no han sido dimensionados. Por su parte, la mayoría de los conflictos socioambientales reportados por la OCMAL se dieron por la contaminación de ríos, pozos agrícolas y demás cuerpos de agua que abastecen a las comunidades y sostienen sus actividades agropecuarias. Más si de impactos ambientales se trata, los accidentes en las lagunas de jales tienen el mayor potencial de afectación; en el periodo de 2020 a 2025 se registraron dos incidentes, el primero sucedió en Concordia Sinaloa en 2021 cuando posiblemente debido a las intensas lluvias provocadas por el huracán Pamela, la laguna de relaves se derrumbó y los jales se integraron al arroyo el Florido, tributario del río Pánuco. El segundo accidente ocurrió en mayo del 2020 en Durango cuando casi 6 mil metros cúbicos de jales se derramaron cubriendo 8 000 m² de tierra, alcanzando la corriente San Bernabé (CSP2, 2025).

Métodos

Una revisión bibliográfica para conocer el avance de la adopción de estrategias de economía circular en el sector minero en México se llevó a cabo en tres pasos; el primero consistió en la colección de datos en el periodo 2020-2025 de bases de datos especializadas tales como Google Scholar, y Scopus, usando operadores booleanos y las siguientes palabras claves —tanto en inglés como español—: *mining* + Mexico + “*circular economy*” o *circularity* o *closed-loop* o *material circularity* o *reuse* o *refuse* o *repurpose* o *recycling*; de este ejercicio se colectaron 32 documentos. El segundo paso consistió en la revisión y selección de documentos obviando aquellos que sólo mencionaran de manera incidental el tema; por ejemplo, mencionar que el país es el productor mundial de algún mineral particular; esta etapa dejó 16 documentos relevantes para la temática: 12 artículos, una tesis doctoral, un reporte, un capítulo de libro y un artículo de conferencia. La revisión bibliográfica se realizó sobre esos documentos, lo que consistió el tercer y último paso.

Además, se realizó un análisis de contenido sobre los reportes de sustentabilidad para 2023 en tres pasos; el primero fue la selección de cuatro documentos; dos en español correspondientes a empresas mexicanas: Grupo México y Grupo Peñoles. Y dos en inglés de las empresas extranjeras: Newmont Co. de capital estadounidense y Alamos Gold Inc. de capital canadiense. El segundo paso fue la elección de las secciones ambientales de cada archivo que, en general, proporcionaba información sobre las medidas y estrategias empresariales en Cambio Climático, Calidad del Aire, Agua, Biodiversidad, Residuos y Cierre de Mina. Sobre los archivos ambientales se aplicó un análisis de contenido usando el paquete Quanteda (Benoit et al., 2018) versión: 4.0.2 de R versión 4.4.3 (2025-02-28) para Mac; siguiendo el método de Giménez (2024).

Resultados y discusión

Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica sobre la adopción de circularidad en el sector minero mexicano reveló que el tema ha sido escasamente estudiado (véase tabla 5.2); en el periodo analizado de 2020 a 2025 el número de publicaciones parece seguir un comportamiento bimodal con la mayoría de las publicaciones (31%) al inicio del intervalo, véase la figura 5.1. Empero en contraste con el escaso número de documentos, los objetos de investigación son diversos y copiosos como lo indican las 46 palabras claves asociadas; si hay un interés prioritario son los relaves mineros (con hasta tres menciones) fuera de las expresiones: Minería (4), Economía circular (3) y Sustentabilidad (2). El número de autores también es nutrido: 52, con solo tres autores participando hasta en dos publicaciones: Amabilis-Sosa L. E., Pat-Espadas A. M. y Téllez Ramírez I. De las 11 revistas especializadas que han publicado artículos en el tema, solo *The Extractive Industries and Society* ha publicado hasta dos artículos.

Por otro lado, la producción académica provino de 16 instituciones nacionales y cuatro internacionales, de las cuales la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) participó en 11 de los 16 trabajos seleccio-

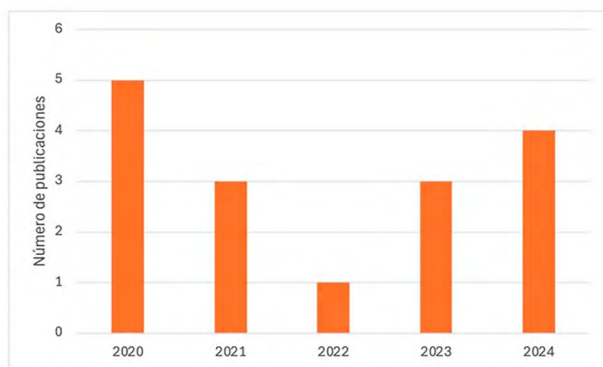
Tabla 5.2. *Publicaciones sobre economía circular en la minería mexicana, 2020-2024*

Título	Autores
El derecho económico, la minería y la economía circular en México	Witker, 2023
Data integration of critical elements from mine waste in Mexico, Chile and Australia	Villa Gomez et al., 2022
Articulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el paradigma de la economía circular	Rivera Acosta y Martínez Torres, 2021
Economía circular en minería: nanopartículas en tecnologías de remediación del medio ambiente y microelectrónica a partir de residuos minerales y agrícolas (Tesis)	Gándara Martínez et al., 2023
Mining, water and society: recycling of mining effluents as a social solution to the use of water in Mexico (Capítulo de libro)	Bazúa-Rueda et al., 2020
Resiliencia en actividades mineras (artículo de conferencia)	Jaime y Sanabria, 2021
La gramática del Río Sonora que exhibió el derrame de la mina de Cananea	Agraz y Murphy, 2020
Efectos multisectoriales de la ausencia simulada de la actividad minera en México: un análisis de impactos con un modelo de extracción hipotética.	Gaytán-Alfaro, 2020
Efectos multidimensionales de la minería en San José del Progreso, Oaxaca	Azamar Alonso y Téllez Ramírez, 2021
Procedimiento para la rehabilitación ambiental de las minas abandonadas. Aplicación a minas de recursos pétreos en la comunidad de San Pablo Autopan, Estado de México	Mondragón de Jesús et al., 2024
Minería a microescala para el desarrollo regional sostenible: Análisis exergético de un caso en Guerrero, México (2022).	Real-Cornejo et al., 2023
Mining-metallurgical monopoly capital in Mexico, 1960--2023	Téllez-Ramírez y Sánchez-Salazar, 2024
Mining struggles in north-central Mexico: Between mining tradition, poverty, and environmentalism	Toscana-Aparicio y Uribe-Sierra, 2024
Reuse of Mine Tailings as an Alternative for the Manufacture of Refractory Bricks: Sustainable Remediation for Mining Waste Management	Puy-Alquiza et al., 2024
Stabilization of potentially toxic elements contained in mine waste: A microbiological approach for the environmental management of mine tailings	Valenzuela et al., 2020
The circular economy in Latin America and the Caribbean (Reporte)	Schröder et al., 2020

Fuente: elaboración propia.

nados, seguida por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) participando en tres, y las Universidades de Guanajuato (UG) y Guerrero (UAGro) con dos intervenciones cada una. El 56% de las instituciones mexicanas colaboraron con instituciones internacionales, por ejemplo, la UNAM, el IPN, y el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí colaboraron con la Universidad de Queensland de Australia. Por su parte, la UNAM, el Instituto Tecnológico de Culiacán, la UG, y la Universidad Veracruzana (UV) trabajaron conjuntamente con la Universidad de la Habana en Cuba. Por otro

Figura 5.1. Número de publicaciones sobre circularidad en la minería mexicana, 2020-2024



Fuente: elaboración propia.

lado, la UAM cooperó con la Universidad Católica de Temuco de Chile. Finalmente, el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) de Sonora y la Universidad de North Carolina en EUA concurren en un estudio.

Los enfoques temáticos cubiertos por los documentos son múltiples y van de lo general a lo local, de lo técnico a lo socioambiental, incluyendo aspectos legales y sociológicos. Así, en la primera clasificación en un estudio sobre oportunidades de adopción de la economía circular, en Latinoamérica y el Caribe se identificó al sector minero y extractivo como una de las tres prioridades a atender en la región, empero se reconoció que la adopción de prácticas circulares en la minería debería incorporar consideraciones ambientales y sociales (Schröder et al., 2020). Otro estudio general que aparentemente no está relacionado con la economía circular pero que bien podría sentar un esquema integral para la implementación de circularidad, describe el desarrollo de un marco de resiliencia interna y externa en cuatro dimensiones: técnica, organizacional, económica y social para operaciones mineras (Jaime y Sanabria, 2021).

A un nivel meso, un estudio teórico de corte económico evaluó el impacto de la omisión simulada, total o parcial, de la actividad minera en la economía mexicana. Los resultados mostraron que la fabricación de equipos de transporte (subsector 336), edificación (236) y fabricación de pro-

ductos a base de minerales metálicos y no metálicos (327) serían los subsectores que se verían mayormente afectados por el desabasto de los productos mineros; el autor concluyó que este tipo de ejercicio sería adecuado para el análisis de los efectos de políticas públicas y reformas estructurales que afecten de manera directa o indirecta al sector minero. Si bien este estudio no es sobre economía circular *per se*, más si demuestra las consideraciones a tomar ante la adopción de estrategias circulares en la minería (Gaytán-Alfaro, 2020).

Otra investigación buscó definir indicadores relacionados con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9), y Producción y Consumo Responsable (ODS 12) para el sector minero-metalúrgico desde la perspectiva teórica de la economía circular; tales indicadores fueron ensayados sobre la operación de una mina subterránea de plata en Zacatecas que cuenta con capital canadiense (Rivera Acosta y Martínez Torres, 2021). Otro estudio de corte jurídico propuso el hipotético marco legal de la minería bajo preceptos de circularidad para los nuevos minerales como el litio considerando los tratados de libre comercio, el derecho económico, y la economía circular (Witker, 2023).

Una investigación de corte histórico, para el periodo 1960 al 2023, evaluó la evolución del capital monopolista en el sector minero metalúrgico, en particular de los consorcios mineros mexicanos: Grupo México y Grupo Peñoles; encontrando que el enriquecimiento de éstos fue acompañada de un incremento de conflictos socioambientales (Téllez-Ramírez y Sánchez-Salazar, 2024), nuevamente si bien este estudio no se centra directamente en la circularidad muestra potenciales obstáculos para adoptar tales iniciativas.

La mayoría de los estudios identificados (69%) se encuentran en el nivel más puntual y local. Un análisis cartográfico de conflictos socioambientales en sitios mineros de Sonora y Zacatecas mostró el contraste entre el discurso de empresas mineras y el sector gubernamental, y las comunidades cada vez menos dispuestas a permitir la instalación de actividades mineras (Toscana-Aparicio y Uribe-Sierra, 2024). A su vez, un análisis multidimensional considerando cinco criterios: (1) institucional, (2) social, (3) económico, (4) cultural y (5) ecológico (cada uno con tres compo-

nentes) se utilizó para categorizar los efectos del extractivismo minero en el ejido San José, municipio de San José del Progreso, Oaxaca. La mina en cuestión es subterránea, y operada desde 2006 por la compañía minera Cuzcatlán, Sociedad Anónima de Capital Variable, filial de la corporación canadiense Fortuna Silver Mines. Los resultados mostraron que los beneficios de la empresa no se vieron reflejados en bienestar de la comunidad o el Estado (Azamar Alonso y Téllez Ramírez, 2021).

Por otro lado, se analizó un tratamiento biológico de agua proveniente de los procesos de flotación de una planta metalúrgica donde se producen sulfatos de zinc, cobre y plomo de una mina de cobre localizada en el Estado de México; buscando caracterizar la viabilidad del uso de tal agua en comunidades cercanas o en las propias actividades de la mina; este estudio surgió de una colaboración de larga data entre la academia y la mina comunitaria, y es presentada como una buena práctica para resolver problemas del sector minero (Bazúa-Rueda et al., 2020).

Por su parte, se valoraron los jales como fuente de recursos secundarios, del análisis de 159 muestras se encontró que existe un potencial para bismuto, antimonio, tungsteno, indio, zinc y molibdeno en el estado de Sonora (Villa Gómez et al., 2022). Otra investigación en la forma de tesis doctoral aplicó métodos de nanotecnología en materiales para aplicar a la economía circular en minería, usando óxidos de cobre (CuO) y silicio (SiO_2) y métodos de química verde, utilizando desperdicios de frutas. El material resultante del óxido de silicio fue un removedor de colorantes en aguas contaminadas (Gándara, 2023).

Una investigación analizó la gramática social, o el conjunto de componentes articulados de forma tal que den paso a una configuración sistémica dada, que conforman la base de una coherencia implícita en el funcionamiento social. Dicha gramática social se estudió en el río Sonora después del derrame de 40 000 m^3 de sulfato de cobre, proveniente de la mina Buenavista del Cobre, subsidiaria de Grupo México, y ubicada en Cananea. El método aplicado fueron entrevistas semiestructuradas a diversos actores en las comunidades aledañas o no al río (Luque y Murphy, 2020).

También se propuso un procedimiento para la rehabilitación de minas abandonadas que se dedicaban a la extracción de materiales pétreos, usando indicadores geológicos-geomorfológicos, hídricos, ecológicos y socioe-

conómicos, adecuados a las características de la comunidad San Pablo de Autopan, Estado de México (Mondragón et al., 2024). Además, se reflexionó como la minería a microescala o gambusina representa una oportunidad para el desarrollo social y económico de algunas comunidades rurales; tal hipótesis fue probada en el distrito minero de Coyuca de Catalán, Guerrero, México, estimando el análisis de costos de exergía de las operaciones de extracción y refinación de oro, para conocer los costos ocultos que impactan la actividad minera de los gambusinos. Los resultados mostraron que el consumo de agua y mercurio son los elementos que más afectan a la comunidad (Real-Cornejo, Maldonado-Astudillo y Plascencia, 2022).

Existen dos estudios que sí presentan ejemplos típicos de circularidad en el sector minero, el primero expuso las características físicas, mecánicas y químicas de ladrillos fabricados con relaves de minas de plata de la compañía La Cooperativa en Guanajuato; los ladrillos resultaron ser resistentes a las condiciones ácidas y también ser refractarios, con un alto potencial para ser usados como material de construcción tanto en sectores domésticos como industriales (Puy-Alquiza et al., 2024). El segundo estudio evaluó la factibilidad de la reducción microbiana de sulfatos como estrategia de gestión de residuos mineros, el método fue probado en muestras provenientes de dos minas abandonadas en Sonora. Los resultados mostraron un alto potencial de remoción de metales de los residuos mineros (Valenzuela et al., 2020).

Como se observa, de esta revisión bibliográfica, los avances de la adopción de circularidad en el sector minero mexicano son incipientes y fragmentados según lo reportado en estudios académicos, sólo dos prácticas podrían conducir a la circularidad: revaloración y uso de relaves, y uso de agua tratada de procesos metalúrgicos. En la tabla 5.3 se listan ejemplos de prácticas circulares en la minería.

Análisis de contenido de los reportes de sustentabilidad de las empresas mineras mexicanas

El análisis de contenido en español para los reportes de sustentabilidad 2023 del Grupo México y del Grupo Peñoles mostró que el concepto de “econo-

Tabla 5.3. *Ejemplos de prácticas circulares en la minería*

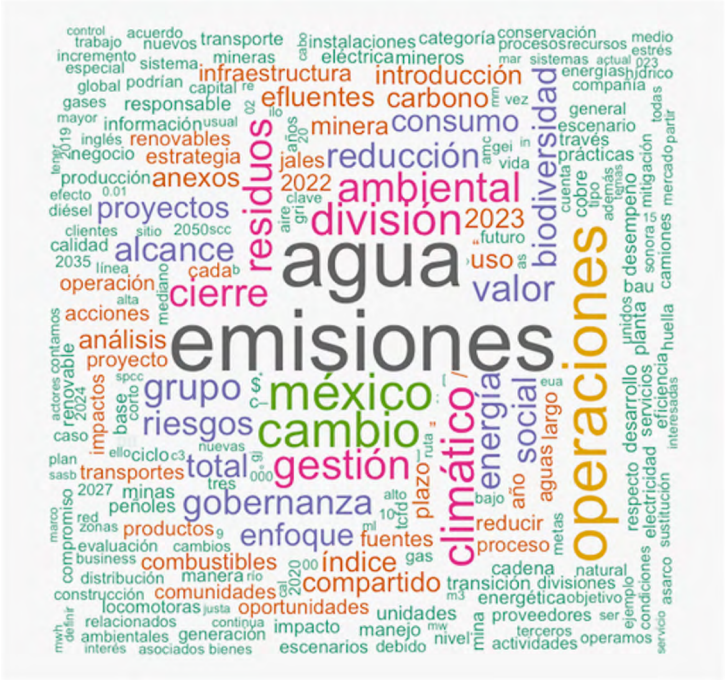
<i>Práctica circular</i>	<i>Ejemplo</i>
Recuperación y reciclaje de material	Uso de relaves para crear materiales de construcción Deshidratación de relaves Reúso de agua tratada proveniente de procesos metalúrgicos
Incorporación de avances tecnológicos del reciclaje de residuos mineros para reducir el consumo de material virgen	Incremento de capacidad de reciclaje de rebabas de hierro y acero procesados en hornos oxigenados o de arco eléctrico o mediante separación magnética y tecnologías químicas no convencionales como la calcinación
Automatización e incorporación de sensores de control en procesos mineros para mejorar la seguridad y aumenta la eficiencia de las operaciones	Uso de sensores para gestionar las demandas de agua y energía Automatización de procesos de separación (flotación de partículas grandes)
Diseño circular de equipo y procesos mineros	Apilamiento de deshidratación hidráulica en el manejo de la laguna de jales crea un almacenamiento seguro y estable al mismo tiempo que recupera agua Electromovilidad de camiones de transporte de carga
Disposición y desamble sustentable mediante el diseño de sistemas regulatorios y productos resilientes, trazables, adaptable, y eficientes	Diseño de políticas que establezcan la obligatoriedad de licencias de operación, certificación, capacitación en sustentabilidad y transición para el cierre de la mina y su monitoreo posterior
Adopción de un modelo de negocios más sustentable por parte de las empresas mineras	Creación de un sistema producto-servicio que incorpore tecnologías digitales, modularidad para mejorar el desempeño de equipos mineros para reducir pérdidas con un monitoreo continuo

Fuente: elaboración propia basada en Antony et al. (2024) y Vargas et al. (2022).

mía circular” es escasamente considerado, el término aparece sólo en un par de ocasiones en el reporte del Grupo México, en una ocasión estuvo ligado a la gestión de residuos mineros. Por otro lado, se buscaron en los textos la presencia de prácticas circulares usando N-gramas, es decir palabras coocurrentes que aparecen con frecuencia en un contexto dado, por ejemplo “deshidratación”, “electromovilidad de transporte” o “reúso de agua tratada”, dichos vocablos fueron derivados de la tabla 5.3; al final del ejercicio no se encontraron resultados para los bi-, tri- y cuatrigramas preparados. En la figura 5.2 se muestra la nube de palabras de ambos documentos, es decir un gráfico que permite la rápida visualización de los términos más frecuentes.

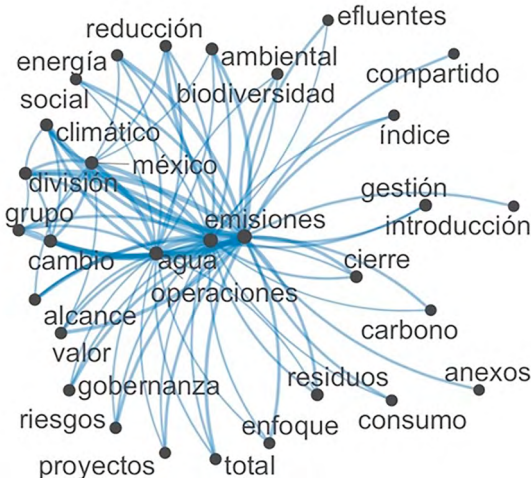
Como se observa, las emisiones asociadas al cambio climático y agua son las principales preocupaciones ambientales para ambas empresas. Los dos términos pueden estar asociados (concurrentes) como lo muestra el gráfico de redes semánticas de la figura 5.3. De esta figura se identifican

Figura 5.2. Nube de palabras de los reportes de sustentabilidad 2023 para Grupo México y Grupo Peñoles



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.3. Red semántica en los reportes de sustentabilidad 2023 para Grupo México y Grupo Peñoles



Fuente: elaboración propia.

asociaciones entre términos, pero no hasta qué punto podrían dar paso a una práctica circular, para clarificar esto se hizo una revisión detallada de los reportes.

Reporte de sustentabilidad del Grupo México 2023

En materia de cambio climático, se incluye un programa de descarbonización a corto (2027), mediano (2035) y largo plazo (2050) con metas de reducción, alcance, acciones y escenarios; entre las futuras disposiciones a mediano plazo se consideran la electrificación de locomotoras internas y electromovilidad de transporte de carga. También se incluye un plan de descarbonización en su cadena de valor y participación en el sistema de comercio de emisiones de México. Al 2023 las emisiones GEI reportadas alcanzaron 8 105 kt CO₂eq., cifra que señaló a las operaciones mineras en México (en comparación con las llevadas a cabo en Perú y los EUA) como la principal fuente de emisiones (37.8%) GEI de la empresa. Las operaciones ferroviarias en México representan 15.6%, mientras que la División Infraestructura en México representan 12.4%. Como medida de reducción de emisiones se apostó por las reducciones de consumo de energía (combustibles y electricidad) que para la división de minería alcanzó 4.95% en comparación con el año 2022. Como medidas futuras de descarbonización, existen dos proyectos en la División Infraestructura: Parque Eólico El Retiro de 74 MW en Juchitán (La Ventosa), Parque Eólico Fenicias de 168 MW en General Bravo, Nuevo León y se reportó la operación de una Central de Ciclo Combinado en Nacozari, Sonora.

Se reportó la presencia de un Plan de Gestión Sustentable del Agua que no incluye una medida específica de reúso de agua tratada. En relación con la biodiversidad, la empresa tiene programas de biodiversidad y reforestación, en esta sección se informó la primera práctica circular, el desarrollo de tecnosuelos que faciliten las acciones de restauración ecológica en colaboración con la Facultad de Geología de la UNAM, otra medida fue la rehabilitación en zonas buffer en caminos e instalaciones, por ejemplo Planta de Ciclo Combinado “La Caridad”, Nacozari, Sonora; Parque Eólico “El Retiro” Juchitán, Oaxaca; Parque Eólico “Fenicias” Nuevo León;

Sector Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, y Ramal Puerto Interior, Guanajuato.

Con relación a la gestión de residuos mineros; durante 2023 en las diversas operaciones mineras en México se generaron 313 457 615 toneladas (t) de residuos mineros, de los cuales 0.24% (737 745 t) fueron escoria y otros residuos de fundición y refinación; 35% (109 919 007 t) fueron jales o relaves; y 65% (202 800 862 t) fueron residuos de roca o tepetate; de estos 182 956 514 t (90%) podrían generar drenaje ácido. La corporación informó sobre el destino de 134 817.1 toneladas de residuos (0.04% de lo generado), de los cuales 99% provino de la división de minera y 1% de la división de transporte; los residuos fueron clasificados como No peligrosos y Peligrosos; de los primeros 102 314.4 t (82.3%) se revaloraron para reciclaje; 79 228.9 t, si bien no se dieron detalles. Otra práctica circular —en evaluación al 2023— era el aprovechamiento de la escoria en la Metalúrgica de cobre en Sonora. Finalmente, la empresa reporta contar con un protocolo de cierre de operaciones con restauración de superficies y reforestación.

Reporte de sustentabilidad del Grupo Peñoles 2023

El manejo de agua incluyó la práctica circular del uso de agua tratada de origen municipal misma que cubrió el 26% del consumo de la empresa, dicho volumen se destinó a las minas Fresnillo plc en Zacatecas, específicamente en las unidades de Juanicipio con un volumen de 619 megalitros (Ml), Saucito con 310 Ml y Fresnillo con 2 413 Ml. También se reportó el consumo de agua municipal tratada en la unidad de fundición (1 147 Ml) y la planta electrolítica de zinc (1 700 Ml). Por otro lado, se reporta la existencia de un programa de biodiversidad que incluye evitar, restaurar y regenerar, sin embargo, no se ofrecen métricas ni ejemplos de su desempeño. Además, se informa de la presencia de un programa de cierre de operaciones y se ejemplifica con la restauración del distrito de Bismark en Ascensión, Chihuahua que después del cese de actividades, 61 ha habían sido reforestadas con 67 475 árboles nativos de la región.

Por su parte, la corporación declaró tener un sistema de manejo de residuos mineros mismos que ascendieron a 19.35 Millones de toneladas

(Mt) de jales, de los cuales 2.33 Mt fueron usados como relleno en obras inactivas al interior de la mina, mientras que el resto de las toneladas se almacenaron en los depósitos de jales. Además, se depositaron 23.01 Mt de mineral en patios de lixiviación y se generaron 1.21 Mt de otros residuos minero-metalúrgicos diferentes a los jales (jarosita) que fueron almacenados. Se reportó también la implementación de instrumentación y sistemas de monitoreo en los depósitos de jales de San Julián, Herradura, Sabinas, Tizapa y Capela. En el periodo se reportó que en la Minas Peñoles se reciclaron externamente 6 787.44 t, 91% (6 183.31 t) eran de manejo especial, el 9% (604.13 t) restante correspondió a residuos peligrosos.

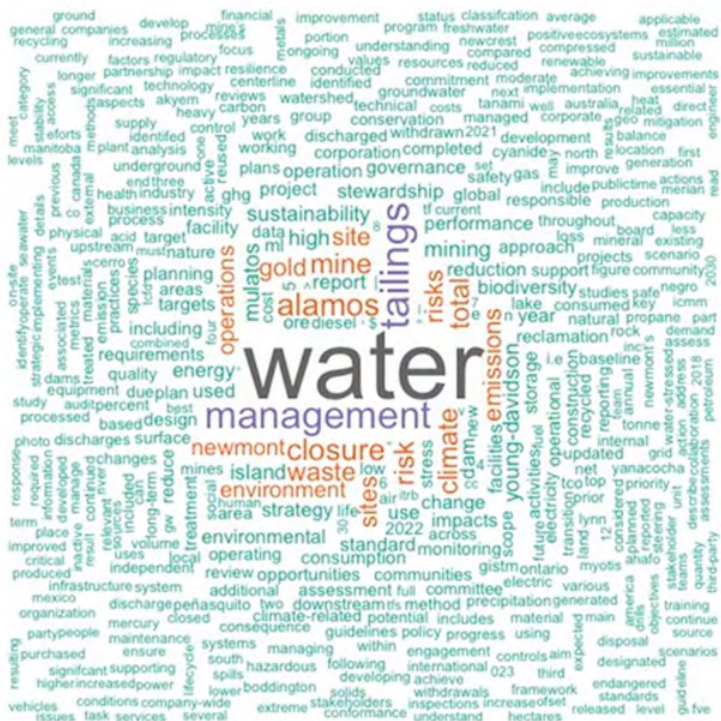
Análisis de contenido de los reportes de sustentabilidad de las empresas mineras extranjeras operando en México

El análisis de contenido en inglés de los reportes de sustentabilidad 2023 de Alamos Gold Inc. y Newmont mostró que el concepto de *Circular Economy* no es considerado; el término *circularity* aparece una vez en el reporte de Newmont y se le asoció con el reúso y reciclaje de materiales. Por otro lado, se buscaron en los textos la presencia de prácticas circulares usando N-gramas, tales como *deshidratación*, *Trunk electromobility* o *treated water reuse*; al final del ejercicio no se encontraron resultados para los bi-, tri- y cuatrigramas preparados. En la figura 5.4 se muestra la nube de palabras de ambos documentos; como puede notarse, el interés primordial de ambas compañías es el agua seguido por la gestión de relaves y el cierre de operaciones. Estos tres términos se relacionan como lo muestra el gráfico de redes semánticas de la figura 5.5. A fin de identificar prácticas circulares se procedió a la revisión detallada de los reportes.

Reporte de sustentabilidad de Alamos Gold Co. 2023

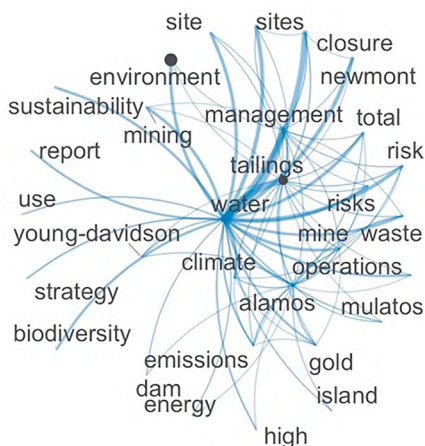
El distrito de los Mulatos en Sonora comprende el pozo los Mulatos, las minas La Yaqui Grande (LYG), Puerto del Aire y Carricito. Entre las medidas

Figura 5.4. Nube de palabras de los reportes de sustentabilidad 2023 para Alamos Gold Inc. y Newmont



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.5. Red semántica en los reportes de sustentabilidad 2023 para Alamos Gold Inc. y Newmont



Fuente: elaboración propia

relacionadas a eficiencia energética, en el distrito se informó de la instalación de bombillas solares y LED en el campo minero y las oficinas de LYG se interconectó a la planta de generación de los Mulatos como mayor fuente de energía eléctrica lo que se tradujo en mejora eficiencia energética y el retiro de generadores en LYG. En relación con las medidas para la gestión de agua, se reportó la colección de agua pluvial, misma que consistió cerca de 43% del agua total para consumo, el resto fue de fuentes superficiales, y si bien se reporta que se tratan los efluentes hasta cumplir la normatividad nacional, no se reporta el reúso de agua. También se identificaron dos principales fuentes de emisiones GEI, una de ellas fue la generación de energía eléctrica en el distrito de los Mulatos, y la mitigación reportada fue el cierre de operaciones en el sitio.

Por otro lado, dentro de las actividades del manejo de residuos, se informó que se generaron 23 380 239 t de residuos, menos del 0.01% (2 186 t) fueron residuos no minerales de los cuales 52.3% fueron reciclados/reusados, pero no se dan detalles. La mayoría de los residuos fueron minerales (23 378 053 t) y no fueron ni reciclados ni reusados. En relación con medidas para preservar la biodiversidad, se desarrolló un proyecto de apicultura comunitaria con 12 apiarios y 50 colmenas, que persiguen incrementar la polinización en el sitio de los Mulatos y LYG. Por su parte, la compañía reportó el monitoreo de calidad del aire encontrándose que las emisiones de contaminantes criterio (NO_x , SO_x , PM_{10} , CO) en el distrito de operaciones mexicanos fue donde las concentraciones fueron más altas en comparación a las operaciones canadienses.

Reporte de sustentabilidad de Newmont 2023

La compañía reporta tener una estrategia energética y climática, aunque los miembros y asociados de Newmont (Cámara Minera de México, Cámara Canadiense, Cámara Estadounidense y Grupo Minero Zacatecano) en México no muestran una alineación política con los Acuerdos de París. Con todo, la empresa tiene un plan climático donde se detallan su gobernanza climática, la gestión de riesgos, estrategias, objetivos de reducción de emisiones GEIS e indicadores desempeño. Entre las áreas donde se planean im-

plementar para reducir emisiones GEI antes del 2050; entre los ejemplos se listan electromovilidad, cambio de fuentes fósiles a renovables, y neutralización ácida y de carbono. México es uno de los mayores emisores GEI —junto con Australia y Surinam— y se sigue un programa de reducción de emisiones. La estrategia de reducción será la implementación *in situ* de fuente de energía renovable (o la compra de energía limpia) en la mina polimetálica (5ta de plata) de Peñasquito en Zacatecas antes del 2030 (Newmont, 2022).

La gestión de agua en Peñasquito se reporta que el porcentaje de agua reciclado o reusado alcanza 66% del total de agua demandada, pero no se dan detalles aparte de la construcción de una planta de tratamiento en el sitio. Por su parte en la gestión de residuos mineros se reportó que de las 75 869 239 t de residuos de roca generados de los cuales cerca de 16% (11 995 447 t) podrían generar drenaje ácido. Además de 764 t de residuos peligrosos fueron reusados *in situ* (444 t) o reciclados externamente (320 t). Por su parte, 3 499 t de residuos no peligrosos fueron reusados (118) en el sitio o reciclados fuera (3 381 t).

Conclusiones

El propósito primordial de este documento fue indagar sobre los avances de la adopción de prácticas circulares en la industria minera operando en México, para alcanzar este objetivo se realizó una revisión bibliográfica y se analizaron los reportes de sustentabilidad para 2023 de cuatro empresas mineras selectas; las dos empresas mexicanas más importantes: Grupo México y Grupo Peñoles; y dos compañías extranjeras: Alamos Gold Inc. y Newmont, de capital canadiense la primera y estadounidense la segunda. El primer ejercicio develó que el estudio fuera del sector es escaso, con baja coherencia y de minúsculo impacto en la industria minera.

Por otro lado, el segundo ejercicio mostró que las empresas mineras no consideran la importancia de adoptar estrategia de circularidad en sus prácticas, o al menos no las auto-reconocen como tales aunque pareciera que de facto las empresas están llevando a cabo praxis que bien podrían clasificarse como circulares, si hubiese mayor información podría aclarar-

se la confusión; por ejemplo el reúso de agua municipal tratada, no puede saberse como se cierra el ciclo del agua; esa misma situación se repite para el reúso y reciclaje de residuos mineros. A pesar de que las empresas mineras mexicanas tienen preocupaciones en la generación de emisiones GEI, no se reportan actividades concretas para la reducción de éstas. En tanto que las empresas extranjeras que operan en México tienen como mayor preocupación el acceso al agua, pero nuevamente no hay acciones precisas.

Las compañías mineras informan sobre su apego y respeto a estándares internacionales y normas nacionales en materia de calidad del agua y aire, lagunas de relaves, manejo de residuos mineros, biodiversidad y demás parámetros ambientales; empero en no pocas ocasiones tales parámetros son excedidos en el país, por ejemplo: México es un mayor emisor de contaminantes criterio atmosféricas de los proyectos mineros que la misma empresa opera en otros países. Las empresas también informan de sus planes para la gestión ambiental futura, pero al menos en este país las prácticas circulares reconocidas:

- Eficiencia del uso de recursos
- Economía circular
- Transición energética
- Calidad de vida e inclusión
- Trazabilidad, digitalización y transparencia

Estas prácticas son incipientemente ejercidas o las que parecen existir se aplican de manera aislada tal como deja entrever lo informado por las propias compañías.

Las empresas mineras cumplen —por lo documentado— con sus responsabilidades, pero parecen no estar abiertas a la innovación, y esto es aceptado con una mirada pasiva de los tres órdenes de gobierno. Parecería ser que el modelo extractivista utilizado para los combustibles fósiles como el petróleo podrían trasladarse a la explotación de minerales críticos para la transición energética demandada en un entorno de emergencia climática; empero bajo este mismo contexto surge una demanda creciente por parte de la sociedad —en particular las comunidades afectadas— a los gobiernos y empresas mineras de que cada vez menos se tolerarán a las

compañías mineras con prácticas depredadoras. Hay que reconocer que existen indicios de prácticas circulares, y un altísimo potencial de circularidad en el sector, aunque es tiempo de acelerar la implementación de éstas; ahora es el momento de actuar.

Referencias

- Alanís Ortega, F. (2021, 12 de febrero). *Minería en México, pieza fundamental en la reactivación económica*. Cámara Minera de México. <https://camimex.org.mx/application/files/9616/1315/1572/presentacion120221.pdf>
- Alamos Gold. (2023). *Informe 2023*. <https://esg2023.alamosgold.com/es/>
- Allwood, J. (2014). Squaring the circular economy: The role of recycling within a hierarchy of material management strategies. En E. Worrell y M. A. Reuter (Eds.), *Handbook of recycling*. Elsevier.
- Antony Jose, S., Calhoun, J., Rentería, O. B., Mercado, P., Nakajima, S., Hope, C. N., Sotelo, M., Menezes, P. L. (2024). Promoting a circular economy in mining practices. *Sustainability*, 16, 11016. <https://doi.org/10.3390/su162411016>.
- Azamar Alonso, A. y Téllez Ramírez, I. (2020). La gramática del río Sonora que exhibió el derrame de la mina de Cananea. *Argumentos*, 33, 217-238.
- Bazúa-Rueda, E. R. et al. (2020). Mining, water and society: Recycling of mining effluents as a social solution to the use of water in Mexico. En E. Otazo-Sánchez, A. Navarro-Frómata y V. Singh (Eds.), *Water availability and management in Mexico*. (Water Science and Technology Library, vol 88). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5_19
- Benoit et al. (2018). Quanteda: An R package for the quantitative analysis of textual data. *Journal of Open Source Software*, 3(30), 774. <https://doi.org/10.21105/joss.00774>
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2024). *Situación actual de la industria minera en México, 2020-2023* (CEFP/013/2024). Palacio Legislativo de San Lázaro, Ciudad de México. <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/documento/2024/cefp0132024.pdf>
- Center for Science in Public Participation (CSP2). (2025). *TSP Failures from 1915*. <https://www.csp2.org/tsf-failures-from-1915>
- Gándara Martínez, E. (2023). *Economía circular en minería: Nanopartículas en tecnologías de remediación del medio ambiente y microelectrónica a partir de residuos minerales y agrícolas* [Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Física]. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- García, F. F., Camilo Cotrim, C. F., Caramori, S. S. et al. (2024) Mine tailings dams' failures: Serious environmental impacts, remote solutions. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04628-z>
- Gaytan-Alfaro, E. D. (2020). Efectos multisectoriales de la ausencia simulada de la acti-

- vidad minera en México: Un análisis de impactos con un modelo de extracción hipotética. *Estudios Económicos Regionales y Sectoriales*, 20(1), 45-58.
- Giménez, D. (2024). *R en el análisis literario en español*. https://www.rpubs.com/DiegoGimenez/r_literatura_quanteda_es
- Grupo México. (2023). *Informe de desarrollo sustentable 2023*. https://www.gmexico.com/GMDocs/InformeSustentable/Folletos/ESP/IDS23_ESP.pdf
- Grupo Peñoles. (2023). *Informe de Sostenibilidad*. <https://www.penoles.com.mx/IDS23/pdf/Penoles-informe-sostenibilidad-2023.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Global critical minerals outlook 2024*. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2023). *Plataforma del mapa interactivo del IMSS*. <https://public.tableau.com/app/profile/imss.cpe>
- Jaime, A. P. y Sanabria, J. (2021, 16-19 de marzo). *Resiliencia en actividades mineras*. XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica.
- Lebre, E., Corder, G. y Golev, A. (2017). The role of the mining industry in a circular economy: A framework for resource management. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 662-672. <https://doi.org/10.1111/jiec.12596>
- Lucchini, F. L., Moreno, E. M., Pérez, V. P., Jofré, H. J., Olivares, G. O., Cattaneo, D. C., Barrios, J. B., Rubilar, J. P. R., Sepúlveda, A. S., Román, E. R. y Alvarez, R. A. (2021). *Minería verde: Oportunidades y desafíos*. Corporación Alta Ley. https://www.corporacional-taley.cl/wp-content/uploads/2023/04/2021_Mineria-Verde_Oportunidades-y-Desafios.pdf
- Mondragón de Jesús, E., Gómez Benítez, D. F., Ordaz Hernández, A. y Sánchez Carmoña, F. (2024). Efectos multidimensionales de la minería en San José del Progreso, Oaxaca. *Acta Universitaria*, 34, 1-22, <https://doi.org/10.15174/au.2024.4029>
- Newmont. (2023). *2023 sustainability report*. https://s24.q4cdn.com/382246808/files/doc_downloads/2023/sustainability/newmont-2023-Performance-Data.pdf
- Nurmi, P. (2017). Green mining: A holistic concept for sustainable and acceptable mineral production. *Annals of Geophysics*, 60. <https://doi.org/10.4401/ag-7420>
- Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL). (2025). *Base de datos versión 2.4.5*. <https://www.ocmal.org>
- Onifade, M. et al. (2024). Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices. *Green and Smart Mining Engineering*, 1, 157-174. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.05.005>
- Puy-Alquiza, M. J. et al. (2024). Reuse of mine tailings as an alternative for the manufacture of refractory bricks: Sustainable remediation for mining waste management, *Remediation Journal*, 35(1), 70004. <https://doi.org/10.1002/rem.70004>
- Real-Cornejo, A., Maldonado-Astudillo, R. I. y Plascencia, G. (2022). Minería a microescala para el desarrollo regional sostenible: Análisis exergético de un caso en Guerrero, México. *Revista de la Universidad del Zulia*, 13(37), 46-64. <https://doi.org/10.46925/rdluz.37.04>
- Rivera Acosta, P. y Martínez Torres, R. E. (2021). Articulación de los Objetivos de Desa-

- rollo Sostenible con el paradigma de la economía circular. *Investigación y Desarrollo*, 29(1), 178-194. <https://doi.org/10.14482/indes.29.1.333.7>
- Rojas-Hayes, C., Casas, J. E. y Sucre, C. G. (2023). *Green mining in Latin America and the Caribbean: comparative analysis of public policies and industry standards to promote sustainability in mining*. Inter-American Development Bank Technical Note, 2697.
- Schröder, P., Albaladejo, M., Alonso Ribas, P., MacEwen, M. y Tilkkanen, J. (2020). *The circular economy in Latin America and the Caribbean: Opportunities for building resilience* (Research paper). Energy, Environment and Resources Programme.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2024). *Anuario estadístico de la minería mexicana 2023*.
- Téllez-Ramírez, I. y Sánchez-Salazar, M. T. (2024). Mining-metallurgical monopoly capital in Mexico, 1960-2023 (2024). *The Extractive Industries and Society*, 20, 101545, <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101545>
- Toscana-Aparicio, A. y Uribe-Sierra, S. E. (2024). Mining struggles in north-central Mexico: Between mining tradition, poverty, and environmentalism. *The Extractive Industries and Society*, 20, e101545. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101548>
- Valenzuela, E. I., García-Figueroa, A. C., Amabilis-Sosa, L. E., Molina-Freane, F. E. y Pat-Espadas, A. M. (2020). Stabilization of potentially toxic elements contained in mine waste: A microbiological approach for the environmental management of mine tailings. *Journal of Environmental Management*, 270, 110873. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110873>
- Vargas, J. P., Muñoz Lagos, A. P., Feriz Torres, J. G., Kinney, I. S., Pérez Cortés, S. y Hurtado, J. P. (2022). Achieving circularity through novel product-service systems in the mining industry: An opportunity for circularity. *Sustainability*, 14, 3614. <https://doi.org/10.3390/su14063614>
- Villa Gómez, D., Sánchez Salgado, E., Mejías, O., Pat-Espadas, A. M., Pinedo Torres, L. A., Jackson, L. y Parbhakar-Fox, A. (2022). Data integration of critical elements from mine waste in Mexico, Chile and Australia. *Minerals*, 12(2), 122, <https://doi.org/10.3390/min12020122>
- Witker, J. (2023). Economic law, mining and the circular economy in Mexico. *Revista de la Facultad de Derecho de Mexico*, 73(286), 469-490. <https://doi.org/10.22201/fder.24488933e.2023.286.86409>
- World Bank (2025). *Climate-smart mining initiative*. <https://www.worldbank.org/en/programs/climate-smart-mining/csm-framework>