

Iris Guadalupe Vizcarra García y Magdalena Elizabeth Bergés Tiznado



Emergencia ambiental: el impacto de la minería en la salud humana y los ecosistemas

Resumen

En México la minería representa aproximadamente el 8.6 % del producto interno bruto industrial, lo que la convierte en uno de los principales motores económicos del país. Sin embargo, puede tener impactos negativos en la salud humana y en los ecosistemas, al afectar la calidad del agua y del suelo, así como la biodiversidad, si no se realiza adecuadamente.

Abstract

The mining industry in Mexico represents approximately 8.6 % of the industrial gross domestic product, making it one of the main economic activities in the country. However, if mining development is not adequate and well controlled, it could have negative impacts in human and environmental health by affecting water and soil quality as well as biodiversity.

Efectos ambientales de la minería

El agua es un recurso vital para la existencia de la vida en nuestro planeta y su calidad es crucial tanto para la salud humana como para el equilibrio de los ecosistemas. En este contexto, la minería se presenta como una de las actividades industriales con mayor impacto ambiental (Joseph, 2025). Durante el proceso de extracción y transformación de minerales, los cuerpos de agua pueden verse afectados por los lixiviados (líquidos que se generan cuando el agua entra en contacto con materiales mineros y arrastra sustancias disueltas, incluidos elementos potencialmente tóxicos), así como por las emisiones generadas en las etapas de trituración, lavado, corrosión y separación química (Joseph, 2025).

Los residuos de estos procesos suelen almacenarse en grandes estanques o represas, conocidos como presas de jales mineros, que son los desechos generados durante el procesamiento de minerales una vez que se ha extraído el recurso de



Estiaje ▶
Periodo del año en el que un río, arroyo o cuerpo de agua presenta su menor caudal debido a la disminución de las precipitaciones.

interés; si estas estructuras fallan o no están apropiadamente construidas, pueden liberar grandes volúmenes de contaminantes (Páez-Osuna y cols., 2022; Mulenga, 2022). Esto puede ocurrir durante la temporada de lluvias, cuando el agua llega a arrastrar contaminantes y sedimentos hacia ríos o lagos cercanos. Además, en época de **estiaje**, los jales expuestos pueden erosionarse debido al viento, lo que lleva partículas finas hacia cuerpos de agua cercanos (Mulenga, 2022).

Una vez que estos residuos llegan a los ríos u otros cuerpos de agua, el pH puede disminuir debido a la formación de aguas ácidas generadas por la oxidación de minerales sulfurados presentes en los residuos mineros o en rocas expuestas durante la minería. Por ejemplo, cuando los minerales que contienen azufre, como la piritita, se exponen al aire y al agua, se oxidan y generan ácido sulfúrico. Esta agua ácida puede movilizar compuestos químicos potencialmente tóxicos que contienen elementos como plomo, mercurio y cobre del suelo y las rocas (Joseph, 2025).

Estos compuestos químicos suelen ser, en su mayoría, persistentes, no biodegradables y bioacumulables, y una vez disueltos en las aguas superficiales son biodisponibles para los organismos, que pueden absorberlos tanto de su alimento como del agua que pasa a través de sus branquias, en el caso de los peces (Joseph, 2025). Además, la actividad minera puede provocar un considerable arrastre de sedimentos hacia los cuerpos de agua y alterar su flujo natural por sedimentación excesiva. Asimismo, el sedimento suspendido puede incrementar la turbidez del agua, lo que dificulta que se lleve a cabo la fotosíntesis y perjudica a organismos que dependen de condiciones específicas para sobrevivir. Una vez que los sedimentos se depositan en el fondo, pueden actuar como reservorios de compuestos potencialmente tóxicos, acumulándolos y liberándolos nuevamente a la columna de agua cuando ocurren cambios en las condiciones fisicoquímicas del medio (Lyautey y cols., 2021). Esta dinámica favorece la exposición prolongada de los organismos bentónicos y puede alterar



la estructura y funcionamiento de las comunidades biológicas asociadas a los sedimentos. Entre los organismos más afectados, se encuentran las comunidades bacterianas, ya que la acumulación de estos compuestos puede reducir la diversidad microbiana y favorecer el desarrollo de microorganismos más tolerantes a la contaminación. Estas alteraciones afectan procesos esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como el reciclaje de nutrientes y la descomposición de materia orgánica, además de influir en la movilidad y disponibilidad de los contaminantes en el ambiente (Lyautey y cols., 2021).

Al igual que el agua, el suelo es un recurso esencial para los seres humanos y se considera saludable cuando tiene la capacidad de sustentar de manera continua la vida de plantas, animales y seres humanos (Mulenga, 2022). A pesar de su importancia, es un recurso no renovable cuya degradación ha aumentado en los últimos años. La minería, en particular, es una de las actividades que más contribuye a esta degradación afectando la calidad del suelo y provocando pérdida de biodiversidad (Mulenga, 2022).

Independientemente del método utilizado, los desechos mineros pueden ser ácidos y contener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos. Esto puede provocar cambios en las propiedades físicoquímicas del suelo, así como la acumulación de compuestos químicos que contienen elementos potencialmente tóxicos, lo que afecta su fertilidad y a los microorganismos que habitan en él. Estos microorganismos son esenciales para la descomposición de la materia orgánica del suelo y cualquier disminución en su diversidad o abundancia puede afectar negativamente la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Mulenga, 2022).

Uno de los efectos negativos más significativos de la minería en el medio ambiente es la deforestación. Esta actividad a menudo implica la limpieza de grandes áreas de terrenos, lo que conlleva la eliminación de árboles y vegetación (Joseph, 2025). Como resultado, se produce la pérdida de diversas especies de plantas y animales, muchas de las cuales pueden ser endémicas de la zona, lo que tiene consecuencias

ecológicas a largo plazo. Además, la deforestación causada por la minería libera el carbono almacenado, contribuyendo al cambio climático (Mulenga, 2022; Joseph, 2025).

En relación con lo mencionado anteriormente, el 21 de enero de 2013 se produjo una falla en la **presa de relaves** de la planta de procesamiento El Herrero, ubicada en la región minera de Santa María de Otáez, en Durango. Esta planta tiene una capacidad de producción de 1 500 toneladas por día, y el depósito corresponde a un tipo de veta caracterizado por la presencia de minerales como oro, plata, plomo, zinc y cobre. Durante la falla, aproximadamente 300 000 toneladas de desechos fueron liberadas al río Los Remedios, desde donde el material fue transportado por el río San Lorenzo hasta la presa conocida como El Comedero, en Sinaloa. Tres meses después, los pescadores de la presa reportaron un evento masivo de mortalidad de peces, al observar ejemplares en malas condiciones y con movilidad reducida. Los peces fueron analizados y mostraron altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc en el hígado, lo que indicó que estuvieron expuestos a altas concentraciones de estos elementos. Se concluyó que la mortalidad fue probablemente causada por el efecto combinado de los seis elementos analizados, así como de otros residuos presentes en los relaves mineros (Páez-Osuna y cols., 2022). Este desastre ecológico provocó una drástica caída en la producción anual de pescado, que pasó de 1 500 toneladas a sólo 80-85 toneladas, lo que generó graves problemas económicos para los casi 300 pescadores que dependían de la presa para su sustento. Casos como éste ilustran cómo los elementos potencialmente tóxicos liberados por la actividad minera pueden dispersarse a través del aire, el agua y el suelo, incorporarse a los ecosistemas y, finalmente, llegar a las poblaciones humanas mediante distintas vías de exposición (**Figura 1**).

Presa de relaves

Obra de infraestructura construida para almacenar o represar los relaves, colas y desechos acuosos originados durante el beneficio de los minerales.

Impactos negativos en la salud humana

La actividad minera y la geología local pueden concentrar compuestos químicos potencialmente tóxicos en agua y suelo, exponiendo inevitablemente a las

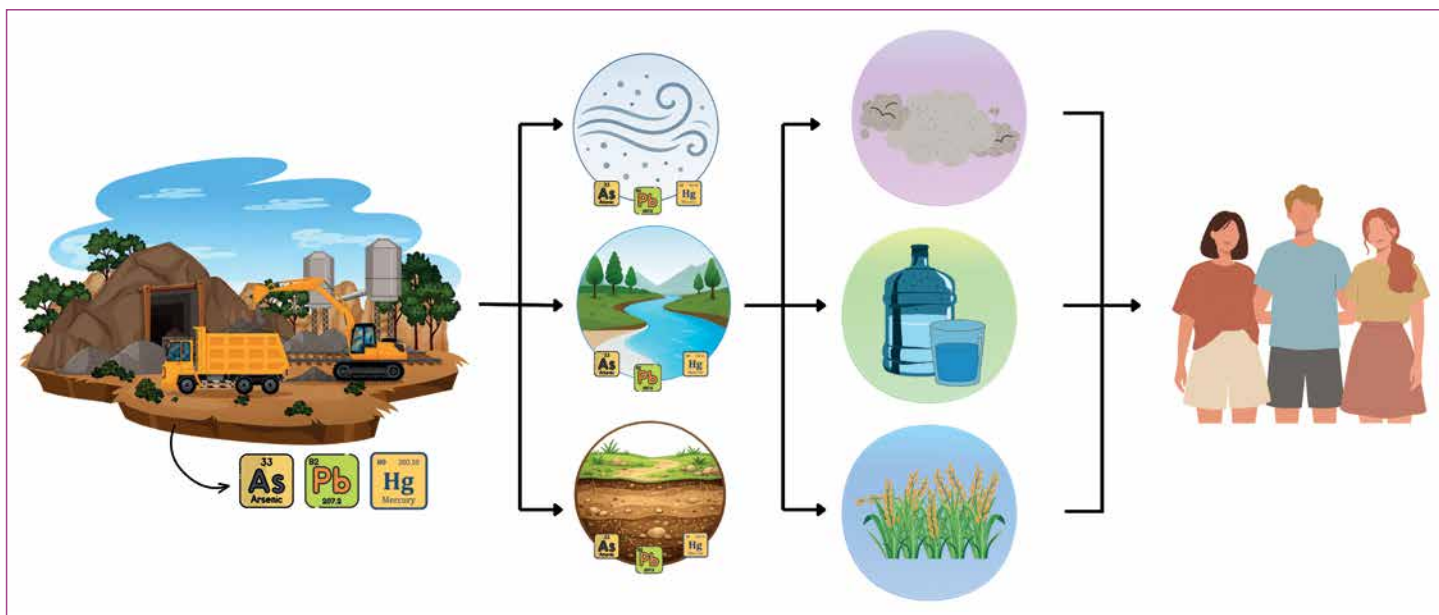


Figura 1. Rutas de dispersión y exposición a elementos potencialmente tóxicos asociados a la actividad minera. Ilustración de creación propia, elaborada en Canva.

Metaloides
Elementos químicos con
propiedades interme-
dias entre los metales y
los no metales.

personas a derivados de metales y **metaloides**. Esto provoca efectos tóxicos agudos y crónicos que dañan diversos órganos del cuerpo (**Figura 2**). Elementos como el arsénico (As), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) están clasificados como de alta prioridad en el agua por la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades.

El plomo es un metal presente de forma natural en la corteza terrestre. Cuando algunos de sus compuestos se liberan al aire, pueden viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo, donde se adhieren a sus partículas y pueden penetrar y contaminar los acuíferos subterráneos. La exposición al plomo es peligrosa para los niños, ya que puede dañar el sistema nervioso central y causar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los sobrevivientes de intoxicaciones graves pueden sufrir discapacidades intelectuales permanentes. Incluso en niveles bajos, el plomo afecta el desarrollo cerebral, reduce el coeficiente intelectual y altera el comportamiento. No existe un nivel seguro de plomo en sangre, incluso 3.5 microgramos de plomo por cada decilitro de sangre pueden ser dañinos (OMS, 2024).

El arsénico encabeza la lista de sustancias prioritarias del Departamento de Salud y Servicios Hu-

manos de Estados Unidos, dado que fue el primer elemento químico cuyas propiedades cancerígenas se reconocieron. Este elemento natural está ampliamente distribuido en el medio ambiente, y su forma inorgánica es la más tóxica (OMS, 2022).

La intoxicación aguda por arsénico puede causar síntomas inmediatos como vómitos, dolor abdominal y diarrea, seguidos de entumecimiento y hormigueo en las extremidades, calambres musculares y, en casos extremos, la muerte. Por otro lado, los primeros signos de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico, como la que ocurre por el consumo de agua y alimentos contaminados, suelen afectar la piel. Entre los síntomas más comunes se encuentran cambios en la pigmentación, lesiones cutáneas y la aparición de durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis), efectos que suelen desarrollarse tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y que pueden ser precursores de cáncer de piel. Además de este tipo de cáncer, la exposición prolongada al arsénico también está asociada con un mayor riesgo de cáncer de vejiga y de pulmón (OMS, 2022).

El mercurio es liberado al medio ambiente por actividades humanas como la quema de combusti-

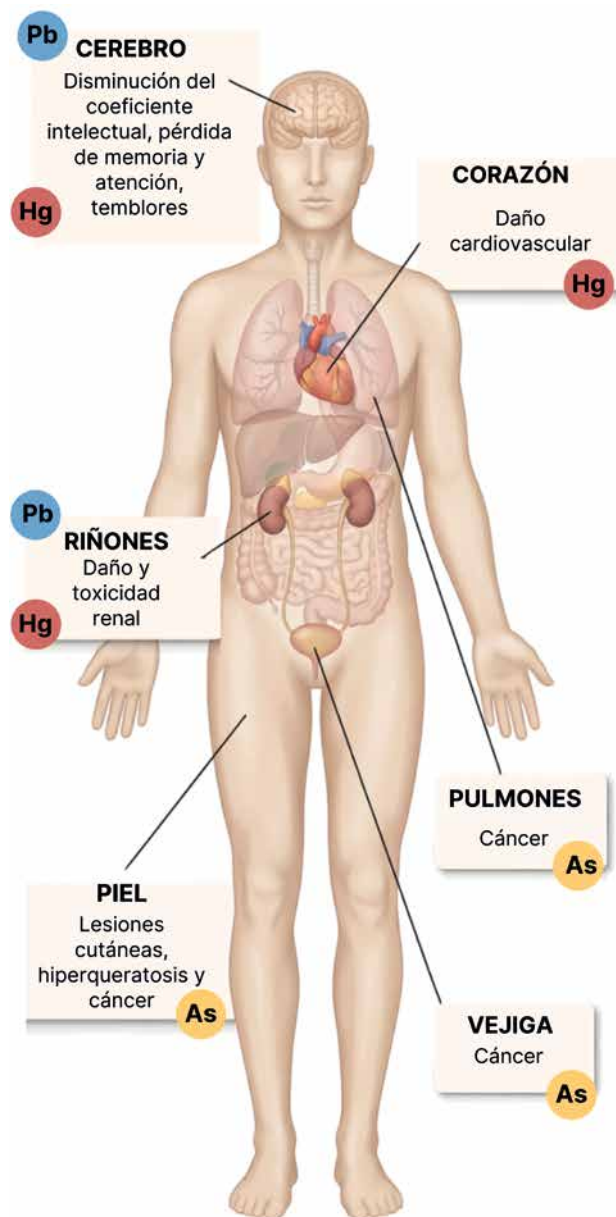


Figura 2. Órganos afectados por la exposición a elementos potencialmente tóxicos asociados a la actividad minera. Ilustración de creación propia, elaborada en Canva.

bles fósiles, el refinamiento de metales preciosos y la disposición de desechos, así como por procesos naturales: la actividad volcánica y la erosión de las rocas, por ejemplo (Gaioli y cols., 2012).

En el agua y en el suelo, bacterias especializadas transforman el mercurio elemental en metilmercurio, una de las formas más tóxicas del metal. Esta conversión incrementa su solubilidad en grasas, lo que facilita su acumulación a lo largo de la **cadena**

trófica animal. Como resultado, la principal fuente de exposición al mercurio para los seres humanos proviene de la dieta, especialmente a través del consumo de peces y mariscos contaminados. La exposición aguda al metilmercurio puede provocar efectos neurológicos graves, como alteraciones visuales, temblores, espasticidad muscular e incluso la muerte. Por otro lado, la exposición crónica está asociada con alteraciones cerebrales y funcionales,

Cadena trófica animal

Secuencia de organismos en la que la energía y los nutrientes se transfieren mediante la alimentación, desde los productores hasta los consumidores. Los contaminantes pueden bioacumularse y biomagnificarse a lo largo de esta cadena.

disminución del coeficiente intelectual y un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular, entre otros efectos perjudiciales para la salud (Gaioli y cols., 2012).

Regulación y normativas en la minería

Se han establecido diversas normas oficiales para regular aspectos específicos de la minería. Una de las más importantes es la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de las presas de jales. A grandes rasgos, en esta norma se definen los requisitos técnicos para la preparación del terreno donde se ubicará la presa de jales, lo que incluye la necesidad de realizar estudios geotécnicos, hidrogeológicos y de impacto ambiental. También regula los criterios técnicos y de seguridad para el diseño de la construcción de la

presa de jales, con énfasis en su estabilidad estructural y el control de filtraciones y la prevención de la erosión. Igualmente, establece las condiciones para la correcta operación de las presas, que abarcan la vigilancia constante del comportamiento de los jales, el monitoreo de condiciones ambientales y el control de posibles riesgos. Por último, incluye las acciones necesarias para el cierre y desmantelamiento de las presas de jales una vez concluida la actividad minera, lo que implica la estabilización de los jales, la restauración del sitio y el manejo adecuado de los recursos.

Desafortunadamente, a pesar de la existencia de la normativa, la frecuencia de derrames asociados con relaves mineros y fallas de represas en la región del golfo de California es alta. Tan sólo entre 2013 y 2021 se han producido al menos nueve accidentes de diferente magnitud (10800-300000 m³) (Páez-Osuna y cols., 2022). Este contraste entre la normativa existente y su aplicación deficiente refleja los



Foto de Laura Arvizu, CCMSS.

desafíos que enfrenta la minería en México, donde factores sociales, la falta de recursos para supervisión y la presión de los intereses económicos de grandes corporaciones obstaculizan la correcta implementación de las leyes.

■ Conclusiones y perspectivas

■ La minería es fundamental para la economía de México, pero puede generar impactos negativos en la salud humana y los ecosistemas. Además de fortalecer el cumplimiento de la normativa vigente, es necesario promover prácticas más sostenibles que reduzcan la contaminación, protejan la biodiversidad y preserven procesos ecológicos esenciales. Sólo mediante una regulación efectiva y una gestión responsable será posible equilibrar el desarrollo económico con la protección ambiental y la salud pública.

Iris Guadalupe Vizcarra García

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

vizcarrairis02@gmail.com

Magdalena Elizabeth Bergés Tiznado

Universidad Politécnica de Sinaloa.

mberges@upsin.edu.mx

Lecturas recomendadas

- Gaioli, M., D. Amoedo y D. González (2012), "Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente", *Archivos Argentinos de Pediatría*, 110(3):259-264. Disponible en: <https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2012/v110n3a18.pdf>, consultado el 7 de julio de 2026.
- Joseph, R. (2025), "Environmental issues in mining: a comprehensive review of challenges and strategies for mitigation and rehabilitation", *Revista Minelot – Mining Review*, 31(3):51-71. Disponible en: <https://reference-global.com/download/article/10.2478/minrv-2025-0029.pdf>, consultado el 7 de julio de 2026.
- Lyautey, E., C. Bonnineau, P. Billard, J. L. Loizeau, E. Naffrechoux *et al.* (2021), "Diversity, functions and antibiotic resistance of sediment microbial communities from Lake Geneva are driven by the spatial distribution of anthropogenic contamination", *Frontiers in Microbiology*, 12:738629. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.738629>.
- Mulenga, C. (2022), "Soil governance and the control of mining pollution in Zambia", *Soil Security*, 6:100039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100039>.
- OMS (2022), "Arsénico", Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>, consultado el 7 de julio de 2026.
- OMS (2024), "Intoxicación por plomo", Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>, consultado el 7 de julio de 2026.
- Páez-Osuna, F., M. E. Bergés-Tiznado, M. G. Fregoso-López, G. Valencia-Castañeda, J. A. León-Cañedo *et al.* (2022), "High accumulation of metals and metalloids in the liver of the blue tilapia (*Oreochromis aureus*) during a massive mortality event induced by a mine tailing spill", *Environmental Geochemistry and Health*, 45(6):3155-3169. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01399-2>.