

**RIESGOS
PERINATALES
ASOCIADOS A
LA MINERÍA
DE COBRE
EN MÉXICO**

CartoCrítica
INVESTIGACIÓN MAPAS Y DATOS
PARA LA SOCIEDAD CIVIL



www.cartocritica.org.mx

RIESGOS PERINATALES ASOCIADOS A LA MINERÍA DE COBRE EN MÉXICO

Ciudad de México, Agosto de 2025

ISBN: En trámite

Autores

Manuel Llano Vázquez Prada
Carla Flores Lot

Revisión

Leticia Merino Pérez

Diseño gráfico

Agustín Martínez Monterrubio

Agradecemos el apoyo de la *Red por la Justicia de los Recursos* y la *Fundación Heinrich Böll* para la realización de este reporte.

Agradecemos también a la colectiva *iCambiémosla Ya!* por el acceso a las fotografías de *Así se ve la minería en México*. Algunas de estas imágenes corresponden a diferentes tipos de minería metálica en México y no específicamente minería de cobre: <https://asisevelamineriaenmexico.org.mx>

Forma sugerida de citar:

Llano, M., y Flores Lot, C. (2025). *Riesgos perinatales asociados a la minería de cobre en México*. CartoCrítica. A.C.



El contenido de este informe está bajo licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). Esto significa que puede copiarse, distribuirse y adaptarse libremente, siempre que se cite la fuente, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo la misma licencia.





Anónimo / Así se ve la minería en México

CONTENIDO

1. Resumen ejecutivo	8
2. Objetivo del estudio	10
3. Introducción	12
3.1. Aspectos ambientales de la extracción en las minas de cobre	14
3.2. El desafío de los recursos y la reducción de la concentración del cobre	16
4. Impactos de la minería en el ambiente y en la salud	18
4.1. Contexto general de impactos ambientales	19
4.2. Relación entre minería y padecimientos neonatales	20
5. Metodología	24
5.1. Descripción general de la muestra	25
5.2. Selección y caracterización de minas de cobre en México	25
5.2.1. Selección del cobre como mineral de estudio	25
5.2.2. Identificación y caracterización de minas de cobre en México	25
5.2.3. Estimación de la producción de cobre por mina (2010-2023)	26
5.2.4. Criterios para la selección de las minas de cobre incluidas en el estudio	27
5.3. Indicadores de salud: niveles de exposición, nacimientos y padecimientos	29
5.3.1. Delimitación de rangos de niveles de exposición	29
5.3.2. Selección y delimitación de nacimientos considerados en el estudio	31
5.3.3. Padecimientos analizados	32
5.4. Variables de ajuste utilizadas en la regresión logística	35
6. Resultados	38
7. Discusión	44
8. Comentarios finales	50
Listado de tablas y mapas	54
Referencias	56



RESUMEN EJECUTIVO

Adolfo Valtierra / Así se ve la minería en México

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio analiza el impacto de la minería de cobre en México en la salud de los recién nacidos, enfocándose en malformaciones congénitas y problemas neonatales.

Basado en el análisis estadístico de datos oficiales de la Secretaría de Salud de más de 76 mil nacimientos entre 2017 y 2023, se encontró mediante regresiones logísticas que la cercanía a minas de cobre está asociada con un aumento significativo en el riesgo de parto prematuro extremo, y con malformaciones en los sistemas osteomuscular y circulatorio.

Los recién nacidos de las comunidades ubicadas a menos de 10 km de las minas de cobre presentan un aumento de 56% en el riesgo de partos prematuros extremos y un incremento de hasta 366% en malformaciones del sistema circulatorio. Ade-

más, las malformaciones osteomusculares muestran un aumento del 126% en áreas de exposición media. Estos hallazgos subrayan los riesgos sanitarios asociados a la contaminación por metales pesados liberados en procesos mineros.

El contexto global de creciente demanda de cobre, impulsado por la transición energética, ha intensificado la actividad minera, incrementando sus impactos ambientales y sociales. En México, donde la regulación del sector tiene serias limitaciones, las comunidades cercanas a las minas están particularmente expuestas. Este estudio destaca la urgente necesidad de fortalecer la regulación ambiental minera, prohibir prácticas como la minería a cielo abierto, garantizar la justicia ambiental y priorizar la salud de las poblaciones vulnerables. La transición energética no puede lograrse a costa del bienestar de las comunidades.

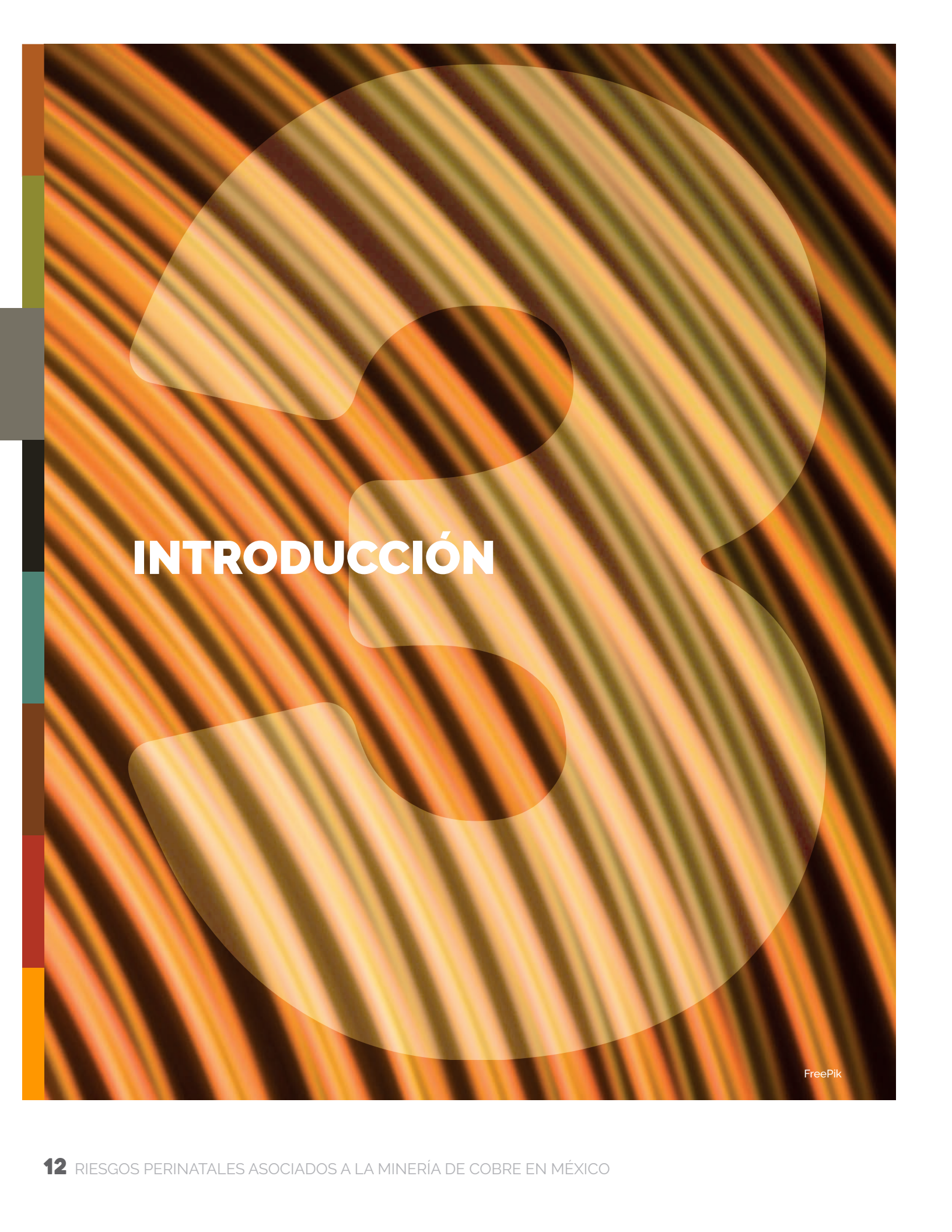
An aerial photograph of a large-scale open-pit mine. The mine's structure is characterized by numerous terraced levels, creating a complex, stepped appearance. The exposed rock faces show varying shades of brown, tan, and grey, indicating different geological strata. A small, dark-colored vehicle, possibly a truck or a piece of heavy machinery, is visible on one of the lower terraces, providing a sense of scale to the massive excavation. The overall scene is one of intense industrial activity and significant land alteration.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

Arbyreed / Flickr

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Evaluar el impacto de la proximidad a minas de cobre en México en la salud neonatal, con un enfoque particular en la incidencia de malformaciones congénitas y problemas neonatales, mediante el análisis de datos geoespaciales y de salud neonatal (2017-2023). Se busca aportar evidencia concreta para orientar políticas públicas y fortalecer la regulación ambiental del sector minero.



INTRODUCCIÓN

FreePik

3. INTRODUCCIÓN

El cobre es uno de los metales más importantes para la economía global y su demanda ha aumentado considerablemente en las últimas décadas al ser uno de los principales minerales estratégicos para las políticas de descarbonización, utilizándose en las líneas de transmisión, vehículos eléctricos, parques solares y eólicos, baterías de almacenamiento, entre muchos otros usos. Incluso, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, para alcanzar los Acuerdos de París respecto al cambio climático se requerirían entre cuatro y seis veces más extracción de los minerales llamados críticos (IEA, 2021), de los que el cobre forma parte.

Esta imperiosa y supuesta necesidad de aumentar la extracción de minerales resulta cierta solo si se plantea mantener intacto al sistema económico actual, basado en un paradigma económico que promueve un crecimiento económico constante que redunde en una enorme concentración de la riqueza y un consumo desmedido y desigual, donde

**EL 10% MÁS RICO DE LA POBLACIÓN
ES RESPONSABLE DE
MÁS DE LA MITAD DE LAS EMISIONES
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
Y CONCENTRA EL USO DE LA MAYOR PARTE DE
LOS RECURSOS ENERGÉTICOS Y MATERIALES.**

(KHALFAN ET AL., 2023, PICKETTY, 2017)

Es decir que, de mantenerse y promoverse los altos niveles de consumo actuales, sin cuestionar la necesidad de establecer límites al crecimiento, y una distribución más equitativa, la tendencia es que la demanda de cobre continúe incrementándose en las próximas décadas, exacerbando los impactos ambientales y sociales de su extracción.

México ha jugado un papel significativo en la producción de cobre a nivel mundial. Para 2023, México era el décimo productor mundial de cobre con una producción anual de aproximadamente 750 mil toneladas, lo que representa el 3.4% de la producción mundial (USGS, 2024). Las principales minas de cobre están concentradas en Sonora, donde las minas de Buenavista del Cobre y La Caridad proveen casi el 75% de la producción nacional. El estado de Sonora es el mayor productor, seguido de Zacatecas, San Luis Potosí y Chihuahua (Deniau et al., 2024).

3.1 Aspectos ambientales de la extracción en las minas de cobre

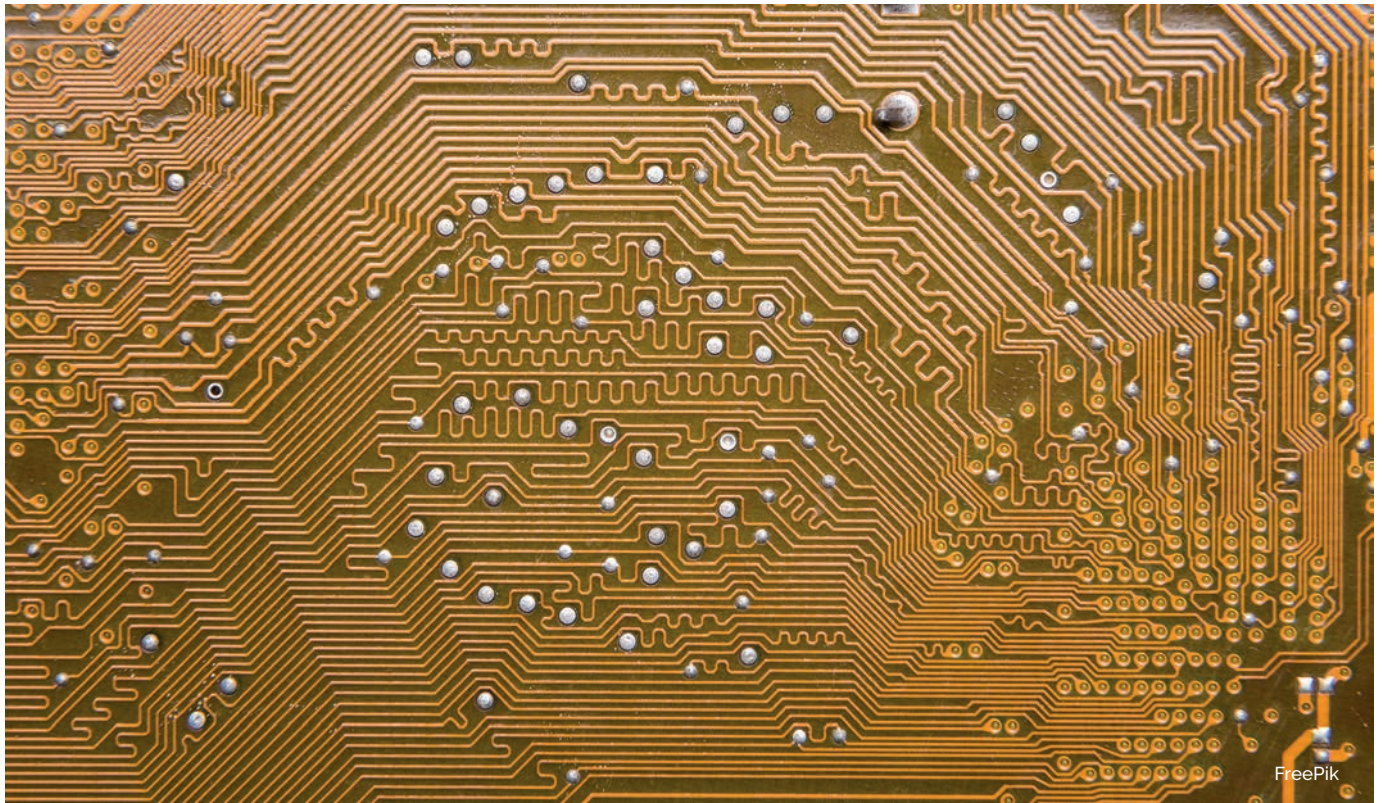
Existen dos formas en las que el cobre está presente en la corteza terrestre: sulfuros y óxidos de cobre. Los sulfuros suelen encontrarse a mayor profundidad, ya que son el resultado del encuentro entre el magma y la corteza, mientras que los óxidos están más cerca de la superficie, pues resultan de la migración superior del magma y la interacción con oxígeno y otros agentes. El tipo de minería y las técnicas utilizadas para la extracción y separación del cobre dependen tanto de la profundidad como del tipo de yacimiento en el que se encuentre, así como de factores económicos asociados a la extracción. Si el mineral está cerca de la superficie, en un rango menor a 300 metros, se opta por la minería de tajo o a cielo abierto, mientras que, a una mayor profundidad y mayor espesor del material estéril, además de la minería a cielo abierto puede usarse la minería subterránea (Wang et al., 2020).

La minería a cielo abierto conlleva la ocupación de grandes extensiones de superficie y la remoción de gigantescos volúmenes de tierra, alterando significativamente el paisaje y los ecosistemas, con severas emisiones de polvos y otras partículas suspendidas. Requiere el uso intensivo de elevados volúmenes de agua tanto para el procesamiento del mineral como para la supresión de polvos, y deja enormes tajos de roca expuesta al exterior, misma que se oxida y reacciona con el agua y el oxígeno atmosférico.

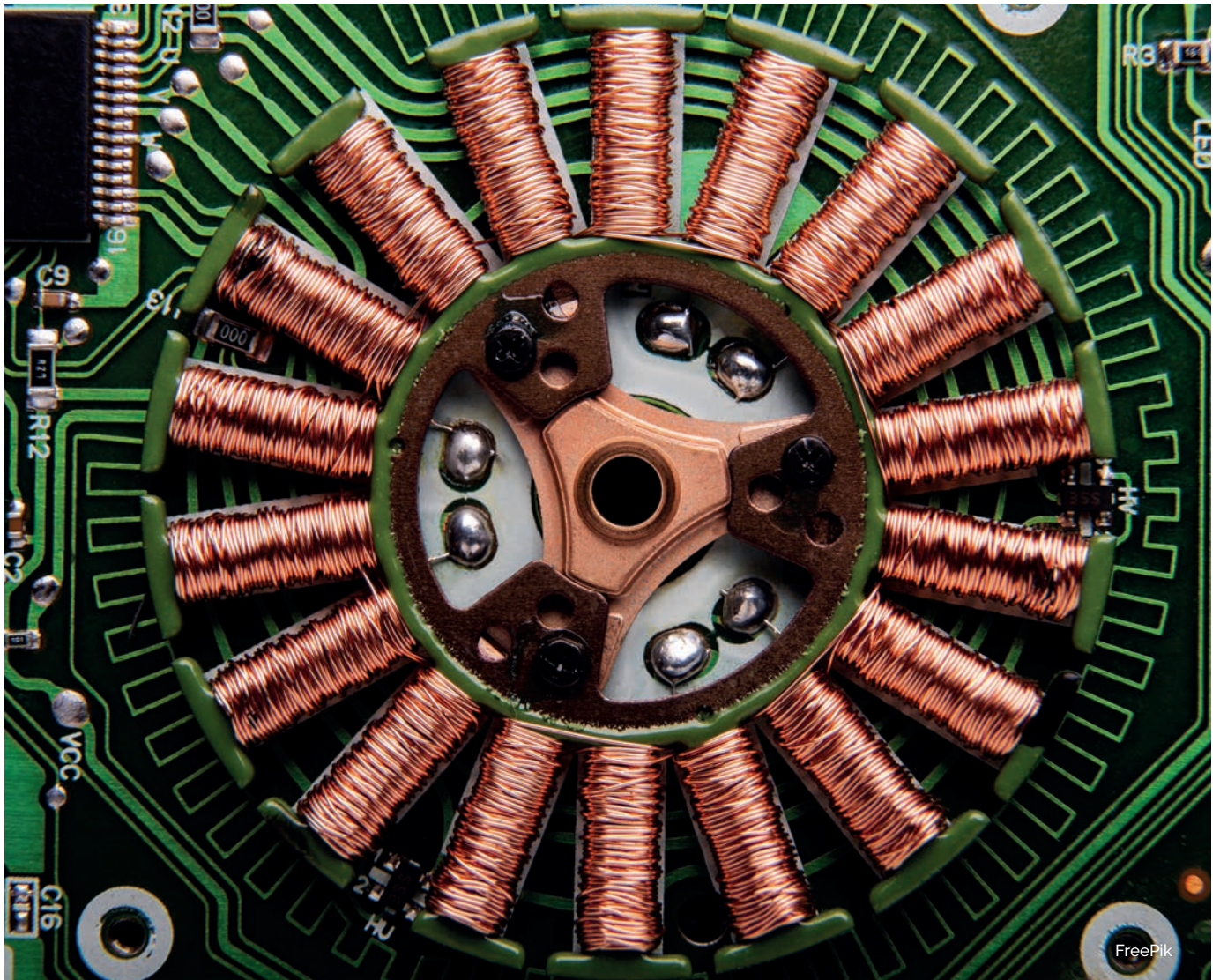
Esta oxidación produce otros derivados químicos, entre ellos el ácido sulfúrico, lo que disuelve metales tóxicos presentes en la roca, provocando que estos se lixivien al subsuelo, fenómeno conocido como drenaje ácido de mina, que contamina el suelo y los cuerpos de agua, afectando significativamente el ambiente en las regiones mineras (Křibek et al., 2023).

Dentro de la mina y planta de procesamiento, el material extraído -un conglomerado de diversos minerales- se tritura para conseguir dimensiones homogéneas. Posteriormente se aplican técnicas específicas para su procesamiento según el tipo de mineral de cobre (sulfuros u óxidos) y el grado de pureza deseado. Para los sulfuros se utilizan reactivos en celdas de flotación para separar el cobre del resto de los minerales presen-

tes en la roca, seguido de un proceso de fundición y conversión para purificarlo. Para los óxidos, se coloca el material en pilas de acopio y se rocía con ácido sulfúrico para lixiviar sulfato de cobre, posteriormente se usan solventes para una segunda extracción y finalmente el cobre se separa del resto del material por electrólisis. Los desechos de todas estas soluciones son depositados en las llamadas presas de jales.



FreePik



FreePik

La ineficiente contención de las soluciones utilizadas y resultantes, así como de las emisiones generadas, derivan en severos casos de contaminación ambiental presentes tanto en corto como largo plazos. Esta contaminación no ocurre solo en casos de derrames, fugas u otros accidentes, sino que se presenta de forma constante durante la operación cotidiana de las minas, ya que los procesos de extracción y procesamiento liberan al ambiente metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, entre otros, contaminando de forma continua aire, suelo y agua. Estas sustancias tóxicas y metales pesados se absorben por los cultivos, el ganado y las fuentes de agua, afectando la salud de las comunidades locales (Rehman et al., 2019; Vesković & Onjia, 2024).

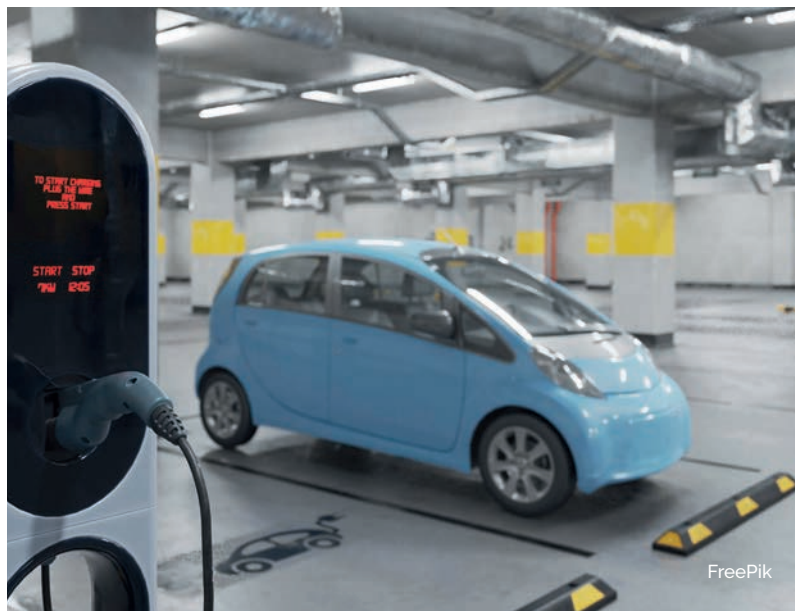
3.2 El desafío de los recursos y la reducción de la concentración del cobre

El aumento en la demanda de cobre a nivel internacional ocurre en paralelo a la reducción de la "ley" del mineral o concentración de cobre en los yacimientos, esto significa que cada vez se requiere extraer y procesar mayor cantidad de rocas para obtener la misma cantidad de cobre. Este fenómeno ha tenido un impacto directo en el consumo de recursos como agua y energía, y el consecuente aumento en superficie ocupada y emisiones. En México, el consumo promedio de agua concesionada para la extracción de cobre al 2023 fue de al menos 183 metros cúbicos por tonelada de cobre extraída,¹ además de que las minas más grandes del país requieren enormes volúmenes de energía eléctrica y combustibles para mantener sus operaciones (Deniau et al., 2024).

La superficie ocupada por las operaciones mineras ha crecido significativamente. Los datos y el análisis espacial, originalmente desarrollado para su inclusión en *Deniau et al. (2024)*, muestra que las minas de cobre en México ocupaban en 2023 aproximadamente 27,460 hectáreas, un aumento considerable en comparación con las 6,616 hectáreas que ocupaban en 2010. Sin embargo, esta expansión territorial no ha estado acompañada por un incremento proporcional en la producción, lo que indica que la extracción de cobre enfrenta retos para mantener el volumen de producción, derivados de la disminución en la concentración del mineral. A nivel global, la concentración promedio de cobre en los yacimientos ha disminuido considerablemente en las últimas décadas. En 1990, el grado o cantidad promedio de cobre por tonelada de material extraído era de 1.67%, para 2013 este grado disminuyó a 1.48% (Calvo et al., 2016).

En México, se estimó que en promedio en 2015 se extraían 68 toneladas de cobre por hectárea ocupada de superficie de las minas, con una tendencia decreciente, para 2023 esta relación fue de solo 25 toneladas por hectárea (Deniau et al., 2024).

¹ Sin contar el volumen de aguas de laboreo, es decir aquellas aguas que se encuentran en los yacimientos mineros y deben ser bombeadas para permitir la extracción de minerales, y para cuyo uso en México las minas no requieren obtener concesión. Según estimaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2023), el volumen de aguas de laboreo puede ser hasta 2.4 veces mayor que el volumen concesionado.





IMPACTOS DE LA MINERÍA EN EL AMBIENTE Y EN LA SALUD

Arbyreed / Flickr

4. IMPACTOS DE LA MINERÍA EN EL AMBIENTE Y EN LA SALUD

4.1 Contexto general de impactos ambientales

La minería de cobre no solo tiene impactos ambientales, sino que también plantea graves riesgos para la salud pública, especialmente para las comunidades que viven cerca de las minas. Los yacimientos de cobre son predominantemente polimetálicos, por lo que no solo liberan sustancias resultantes de los procesos de extracción y separación, sino también minerales asociados que, debido a su baja concentración o escaso mercado, terminan en desechos o escoria. Esta situación se traduce en la liberación al medio ambiente de una variedad de sustancias tóxicas, incluyendo plomo, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, ácido sulfúrico, sulfato de cobre, zinc y manganeso, así como severas emisiones de partículas suspendidas, como se describe en los hallazgos de los siguientes estudios.

Según Monjezi et al. (2008), algunos de los efectos ambientales más destacados incluyen la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad, y la contaminación de aire, suelo y aguas subterráneas y superficiales con productos químicos derivados de la actividad minera.

Además, el drenaje ácido de mina disuelve metales pesados presentes en la roca, infiltrándose al subsuelo y acuíferos (Křibek et al., 2023). Estos impactos pueden tener consecuencias duraderas en los ecosistemas locales y comprometer gravemente la calidad de vida de la población local.

Ndilila et al. (2014) encontraron que, en Zambia, las concentraciones de cobalto, cobre y plomo eran significativamente más altas en áreas cercanas a las operaciones mineras, y estos metales se detectaban tanto en el suelo como en las uñas de los pies de los

residentes, reflejando la exposición crónica a estos contaminantes. De manera similar, Křibek et al. (2023) reportaron que la contaminación de suelo y cultivos se debía al polvo generado por instalaciones mineras y a las fugas de soluciones contaminantes de los depósitos de jales o relaves. Estos metales pesados, como el cobre, el plomo y el arsénico, son liberados y dispersados por el viento y el agua, y representan un riesgo persistente para las comunidades expuestas, ya que la exposición prolongada a estos metales puede llevar a una amplia gama de efectos en la salud, incluyendo problemas neurológicos y alteraciones en el sistema inmunológico (Ndilila et al., 2014; Křibek et al., 2023).

En particular, la contaminación del agua subterránea y los cuerpos de agua cercanos es una de las formas más comunes de dispersión de estos contaminantes de las minas. Giri et al. (2019) documentaron en la región minera de Singhbhum, India, que los niveles de manganeso, cobalto y arsénico en el agua subterránea superaban los estándares seguros para el consumo humano, mostrando cómo las actividades mineras contribuyen a la contaminación de las fuentes de agua. Impactando no solo a los ecosistemas acuáticos, sino también aumentando los riesgos de salud para las comunidades vecinas a las minas.

La exposición a contaminantes atmosféricos, como el polvo de las actividades de minería a cielo abierto, ha sido asociada con problemas respiratorios en comunidades cercanas.

En un estudio en Chile, Herrera et al. (2017) encontraron que la proximidad a minas de cobre y oro estaba asociada con un aumento del riesgo de enfermedades respiratorias, como asma y rinoconjuntivitis, en niños. Estos problemas se ven exacerbados en zonas áridas donde la falta de lluvias impide que los contaminantes sean eliminados del aire (Herrera et al., 2017).

En el Río Le An en China, He et al. (1997) analizaron los patrones espaciales y temporales de acidez y metales pesados, derivados de la contaminación del drenaje ácido de mina. Encontraron concentraciones elevadas de metales como cadmio y plomo en las áreas impactadas por la minería, con variaciones significativas a lo largo del año, contribuyendo a una persistente dispersión de estos contaminantes en el medio ambiente.

Estos impactos ambientales y a la salud derivados de la minería, subrayan la necesidad de políticas ambientales estrictas que regulen a este sector para reducir los riesgos a los que están expuestas las comunidades cercanas. Este contexto general de los impactos de la minería proporciona un marco para entender mejor los riesgos específicos relacionados con las malformaciones congénitas, que serán explorados en la siguiente sección.

4.2 Relación entre minería y padecimientos neonatales

Si bien los impactos de la minería sobre el ambiente y la salud son numerosos, este estudio está enfocado en la posible relación entre la exposición a metales pesados derivados de la minería de cobre y su incidencia en la salud de los recién nacidos. En las últimas décadas, se ha acumulado una cantidad considerable de evidencia sobre los riesgos que implica la exposición a metales pesados durante el embarazo, tanto para la madre como para el feto. Para dar cuenta de ello, por medio de la siguiente revisión de la literatura exploramos la relación entre la proximidad a minas y la incidencia de malformaciones congénitas, partos prematuros y otros problemas de salud en recién nacidos, con el objetivo de proporcionar un contexto comprensible para la situación en México.

En primer lugar, diversos estudios han documentado los efectos adversos que la exposición a metales pesados como el plomo, el cadmio, el manganeso y el arsénico puede tener sobre el desarrollo fetal.

Giordano et al. (2023) destacan que la exposición prenatal a metales pesados está asociada con complicaciones como el crecimiento intrauterino restringido, el parto prematuro y alteraciones en la función tiroidea.

Estos efectos adversos pueden ser el resultado de la acumulación de metales en la placenta, lo que interfiere con el desarrollo normal del feto. La investigación también sugiere que la exposición a metales pesados puede alterar la metilación del ADN en la placenta, afectando así la regulación de genes críticos para el desarrollo fetal (Giordano et al., 2023). Sanders et al. (2014) llevaron a cabo un estudio en Carolina del Norte, donde encontraron una asociación significativa entre niveles elevados de man-



Anónimo / Así se ve la minería en México

ganeso en agua de pozos y una mayor prevalencia de defectos congénitos cardíacos (PR: 1.6, IC 95%: 1.1-2.5). La exposición prenatal a estos compuestos también se ha vinculado con un mayor riesgo de bajo peso al nacer y partos prematuros.

Un caso de especial relevancia es el reportado por Mudekereza et al. (2021) sobre la incidencia de holoprosencefalia,² en áreas relacionadas con la minería en la región oriental de la República Democrática del Congo (RDC). Los autores encontraron que la prevalencia de esta grave malformación cerebral estaba vinculada a la contaminación por metales pesados provenientes de la minería artesanal, lo que destaca la peligrosidad de la exposición crónica a estos elementos durante el embarazo. De manera similar, el estudio realizado por Kayembe-Kitenge et al. (2019) para la región de Lubumbashi, también en la República Democrática del Congo, documentó tres casos de holoprosencefalia en neonatos de madres expuestas a altas concentraciones de manganeso y uranio, lo que sugiere que la minería en la zona podría contribuir a una mayor incidencia de malformaciones congénitas.

² La holoprosencefalia es una grave alteración del desarrollo del feto durante las primeras semanas del embarazo, en la que el lóbulo frontal del cerebro no se separa en un ventrículo izquierdo y uno derecho, provocando deformidades muy severas al nacer. Los niños que nacen vivos pueden vivir entre cinco y 15 años, pero muchos de ellos presentan afecciones graves que incluyen el retraso mental y la incapacidad de caminar (NHGRI, 2024).



Otra preocupación importante es la relación entre la minería y el riesgo de malformaciones del sistema circulatorio. Un estudio de Brusselen et al. (2020) realizado también en Lubumbashi encontró que los neonatos con defectos congénitos tenían una mayor probabilidad de tener padres que trabajaban en actividades mineras (OR ajustada: 5.5, IC 95%: 1.2-25.0). Asimismo, el estudio observó niveles elevados de manganeso y zinc en la sangre del cordón umbilical, sugiriendo un posible mecanismo de transferencia de metales a través de la placenta.

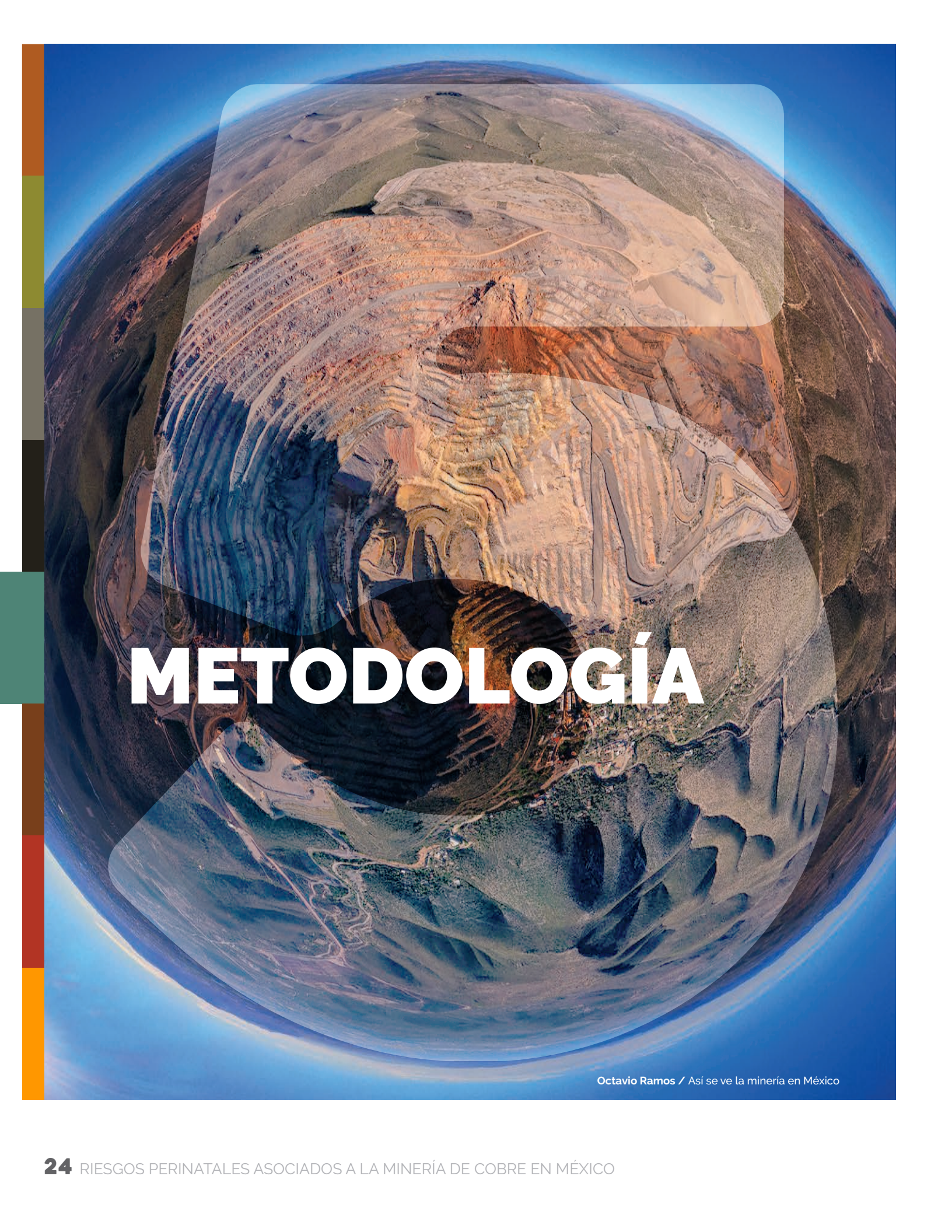
En cuanto a los mecanismos de exposición, el estudio de Zota et al. (2011) destaca que las viviendas cercanas a sitios mineros pueden tener niveles elevados de metales pesados en el polvo doméstico, lo cual es particularmente preocupante para las mujeres embarazadas y los niños pequeños, quienes están más expuestos a estos contaminantes a través de la inhalación o la ingestión accidental. El trabajo de Mekonnen et al. (2020) en Etiopía, refuerza esta conclusión al señalar que la exposición a pesticidas durante el embarazo está asociada con un mayor riesgo de malformaciones congénitas, lo que indica que los contaminantes químicos, además de los metales pesados, pueden tener efectos adversos significativos en el desarrollo fetal. Este hallazgo es particularmente relevante en el contexto de la minería, donde el uso de productos químicos para la extracción y lixiviación de los minerales puede contribuir adicionalmente a la contaminación del entorno.

Por otra parte, un estudio de Giri et al. (2019) realizado en la zona minera de Singhbhum, India, evaluó los riesgos para la salud relacionados con la exposición a metales pesados a través del agua subterránea. Los resultados



mostraron que los niveles de manganeso, cobalto y arsénico en el agua superaban los estándares de calidad para consumo humano, lo cual representaba un riesgo significativo para la salud, especialmente para la población infantil. El índice de riesgo (HI) calculado para la población infantil fue particularmente alto, con un valor de 4.57 en la temporada pre-monzón, significativamente mayor al umbral seguro de 1, indicando un riesgo considerable de efectos adversos a la salud para los niños expuestos al agua contaminada, probablemente debido a la falta de dilución de metales pesados que normalmente ocurre durante la temporada de lluvias. Aunque el estudio de Giri et al. (2019) no se centra específicamente en malformaciones congénitas, sí reporta alta concentración de metales pesados, como el manganeso y el arsénico en el agua subterránea en una zona minera. Diversos estudios abordados en esta revisión de literatura relacionan la presencia persistente de estos metales en el agua con posibles alteraciones en el desarrollo fetal como malformaciones congénitas y otras complicaciones perinatales, cuando la exposición se presenta durante el embarazo.

En síntesis, la literatura disponible sugiere una clara asociación entre la exposición a metales pesados producto de la contaminación de la actividad minera, y un mayor riesgo de malformaciones congénitas y otros problemas perinatales. Estos hallazgos son particularmente relevantes para México, un país donde la regulación ambiental de la minería presenta limitaciones muy significativas.



METODOLOGÍA

Octavio Ramos / Así se ve la minería en México

5. METODOLOGÍA

5.1 Descripción general de la muestra

Para este estudio se analizaron datos oficiales de nacimientos provenientes del Subsistema de Información sobre Nacimientos (SINAC), operado por la Dirección General de Información en Salud de la Secretaría de Salud de México, correspondientes al periodo de 2017 a 2023. La muestra incluyó un total de 76,115 nacimientos de embarazo de producto único, registrados en localidades ubicadas dentro de un radio de hasta 25 kilómetros de 17 minas de cobre seleccionadas. Esta cohorte fue definida a partir de criterios geoespaciales y epidemiológicos que permiten estimar la exposición diferencial a contaminantes asociados a la minería. Si bien los datos del SINAC son la fuente más completa y sistemática disponible a nivel nacional, presentan limitaciones al no incluir información individual sobre condiciones socioeconómicas, hábitos maternos o exposición laboral, lo que restringe el ajuste de algunas variables potencialmente relevantes. A pesar de estas limitaciones, el tamaño y calidad de la muestra permiten realizar análisis estadísticos robustos sobre los efectos de la exposición minera en la salud neonatal.

Con base en esta muestra, se utilizó una metodología de análisis estadístico que permite evaluar los efectos de la proximidad a las minas de cobre en la salud de los recién nacidos. Para ello, se empleó una serie de regresiones logísticas para analizar la relación entre la exposición a actividades mineras y la incidencia de malformaciones congénitas y otras complicaciones perinatales. La regresión logística es un método comúnmente utilizado en estudios epidemiológicos para evaluar la asociación entre un conjunto de factores de exposición y resultados binarios, como la presencia o ausencia de un padecimiento. Simultáneamente, esta técnica permite el ajuste de los resultados considerando la influencia de múltiples variables independientes potencialmente confusoras. A continuación, se describen la selección y preparación de los datos utilizados en las regresiones logísticas para el análisis.

5.2 Selección y caracterización de minas de cobre en México

5.2.1 Selección del cobre como mineral de estudio

La selección del cobre como mineral de estudio se basó en diversas razones: por un lado, su importancia como uno de los minerales críticos en la transición energética global, por lo que hay grandes presiones globales para aumentar su extracción; por otro lado, por ser México el décimo productor de cobre en el mundo, y éste uno de los minerales metálicos más extraídos en México. Además, esta elección permite homogeneizar los posibles contaminantes presentes en cada sitio de estudio, al enfocarse en minas dedicadas exclusivamente a la extracción de cobre, lo cual facilita la identificación y comparación de los riesgos asociados.

5.2.2 Identificación y caracterización de minas de cobre en México

Para la identificación y caracterización espacial de las minas de cobre en México, se empleó un enfoque basado en el uso de sistemas de información geográfica (SIG). El pri-

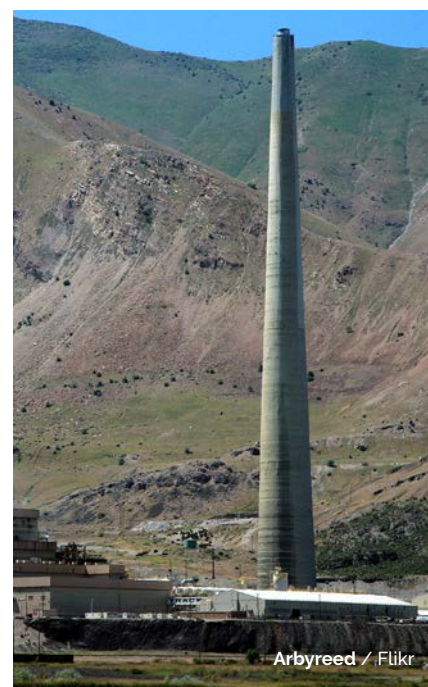


mer paso consistió en trazar manualmente los polígonos de las áreas de operación de las minas sobre imágenes de satélite de alta resolución, utilizando los mosaicos de Planet-NICFI actualizados a 2024. En total, se trazaron los polígonos de 252 minas metálicas en el país, de las cuales 35 se identificaron como minas productoras de cobre activas entre 2010 y 2023.

Para apoyar la identificación de estos sitios, se recurrió a diversas fuentes de información que contienen datos puntuales sobre la ubicación de las minas, tales como el *Directorio de la Minería Mexicana* del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2022), la cartografía de concesiones mineras de la Secretaría de Economía (2024), las manifestaciones de impacto ambiental presentadas ante Semarnat (2024), las concesiones de agua inscritas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de Conagua (2024), y el *Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales* de Semarnat (2021). Estas fuentes fueron utilizadas para localizar y verificar la ubicación de un gran número de sitios de extracción, aunque la mayoría fueron identificados visualmente sobre las imágenes de satélite.

5.2.3 Estimación de la producción de cobre por mina (2010-2023)

La estimación de la producción de cobre por mina se tomó de Deniau et al. (2024), cuya metodología optó por combinar diferentes fuentes de datos según su disponibilidad. Por un lado, se utilizó la información publicada en los informes anuales de la Cámara Minera de México (Camimex 2011-2024), que recopila datos de producción de las principales unidades mineras del país. Sin embargo, los datos de estos informes suelen ser inconsistentes por cubrir solo las minas con mayor producción durante el año, por lo que fue necesario complementar los datos con información publicada por las propias empresas mineras en sus informes anuales y con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024). La información de INEGI sobre la producción anual minera está agrupada a nivel municipal, por lo que cuando fue necesario su uso para complementar datos faltantes, se estimó el volumen de producción anual de la siguiente manera: en aquellos municipios donde solo existía una mina metálica, se le asignó la totalidad de la producción reportada por INEGI; en los municipios con dos o más minas, se revisó la información disponible



de Camimex y de los informes de las empresas para estimar un rango de producción anual para cada mina y distribuir proporcionalmente la producción municipal reportada.

En total, se identificaron 35 minas de cobre que han registrado producción entre 2010 y 2023. La producción anual de cobre en México pasó de 270 mil toneladas en 2010 a 699 mil toneladas en 2023.

5.2.4 Criterios para la selección de las minas de cobre incluidas en el estudio

Para la selección de las minas que conforman el área de estudio de este análisis, se establecieron tres criterios específicos:

- a) **Producción media anual mayor o igual a mil toneladas**, para excluir a las minas cuya producción de cobre es un subproducto, asegurando que las minas seleccionadas tengan una producción significativa. De las 35 minas identificadas, 28 cumplen con este criterio.
- b) **Operación continua al menos desde 2017**, seleccionadas con el fin de asegurar que las comunidades cercanas han tenido una exposición prolongada, fortaleciendo la relevancia temporal del análisis de salud; 32 minas cumplieron con este criterio.
- c) **Ausencia de otras grandes minas metálicas en las áreas de exposición alta, media o baja**, para evitar interferencias en los resultados del estudio. Esto se validó mediante el uso de herramientas SIG y la cartografía de las 252 minas metálicas identificadas. Un total de 26 minas cumplieron con este criterio.

Bajo esta selección, 17 minas de cobre cumplieron con los tres criterios definidos y fueron incluidas en el análisis de las condiciones salud. Los resultados detallados de cada mina, incluyendo su producción media anual y el cumplimiento de los criterios, se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1. TABLA DE PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL
Y CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LAS MINAS DE COBRE EN MÉXICO.

NO.	ENTIDAD	PROYECTO MINERO	PRODUCCIÓN PROMEDIO ANUAL (TONELADAS)	CRITERIOS			SELECCIÓN PARA ESTUDIO
				PRODUCCIÓN ANUAL PROMEDIO ≥ 1,000 TON	OPERACIÓN PREVIA A 2017	SIN OTRA MINA METÁLICA EN 25 KM	
1	Aguascalientes	Unidad Asientos (El Porvenir)	1,040	Sí	Sí	No	No
2	Baja California Sur	El Boleo	12,680	Sí	Sí	Sí	Sí
3	Chihuahua	Bismark	875	No	Sí	Sí	No
4	Chihuahua	Bolívar	8,389	Sí	Sí	No	No
5	Chihuahua	La Mesa, Granadeña, Frisco, Clarines	2,254	Sí	Sí	No	No
6	Chihuahua	San Francisco del Oro	1,997	Sí	Sí	No	No
7	Chihuahua	Santa Bárbara	3,354	Sí	Sí	No	No
8	Durango	Avino y San Gonzalo	1,510	Sí	Sí	Sí	Sí
9	Durango	Ciénega & San Ramon	636	No	Sí	Sí	No
10	Durango	Velardeña	2,348	Sí	Sí	Sí	Sí
11	Guerrero	Campo Morado y G-9	4,208	Sí	Sí	Sí	Sí
12	Guerrero	Capela	2,557	Sí	No	Sí	No
13	Hidalgo	El Espíritu	1,924	Sí	Sí	Sí	Sí
14	Hidalgo	Nuevo Monte	5,579	Sí	Sí	Sí	Sí
15	México	Tizapa	1,368	Sí	Sí	Sí	Sí
16	Michoacán	El Baztán	953	No	Sí	Sí	No
17	Oaxaca	El Águila	1,821	Sí	Sí	Sí	Sí
18	Querétaro	La Negra (Maconi)	1,705	Sí	Sí	Sí	Sí
19	San Luis Potosí	Charcas	2,960	Sí	Sí	Sí	Sí
20	San Luis Potosí	Santa María de la Paz	23,194	Sí	Sí	Sí	Sí
21	Sinaloa	El Cajón	423	No	Sí	Sí	No
22	Sinaloa	La Verde	211	No	Sí	Sí	No
23	Sinaloa	Nuestra Señora	423	No	Sí	Sí	No
24	Sonora	Buenavista del Cobre	316,594	Sí	Sí	Sí	Sí
25	Sonora	La Caridad	123,342	Sí	Sí	Sí	Sí
26	Sonora	María	11,704	Sí	Sí	Sí	Sí
27	Sonora	Milpillas	19,609	Sí	Sí	Sí	Sí
28	Sonora	Piedras Verdes	19,573	Sí	Sí	Sí	Sí
29	Sonora	Pilares		No	No	Sí	No
30	Zacatecas	Cozamin (San Roberto)	19,022	Sí	Sí	No	No
31	Zacatecas	Francisco I. Madero	1,079	Sí	Sí	No	No
32	Zacatecas	Mina Concepción del Oro	11,155	Sí	Sí	No	No
33	Zacatecas	Sabinas	5,287	Sí	Sí	Sí	Sí
34	Zacatecas	San Martín	3,784	Sí	No	Sí	No
35	Zacatecas	Tayahua	14,413	Sí	Sí	No	No

Fuente: **elaboración propia con base en datos de Camimex, INEGI, e imágenes de satélite.**

5.3 Indicadores de salud: niveles de exposición, nacimientos y padecimientos

5.3.1 Delimitación de rangos de niveles de exposición

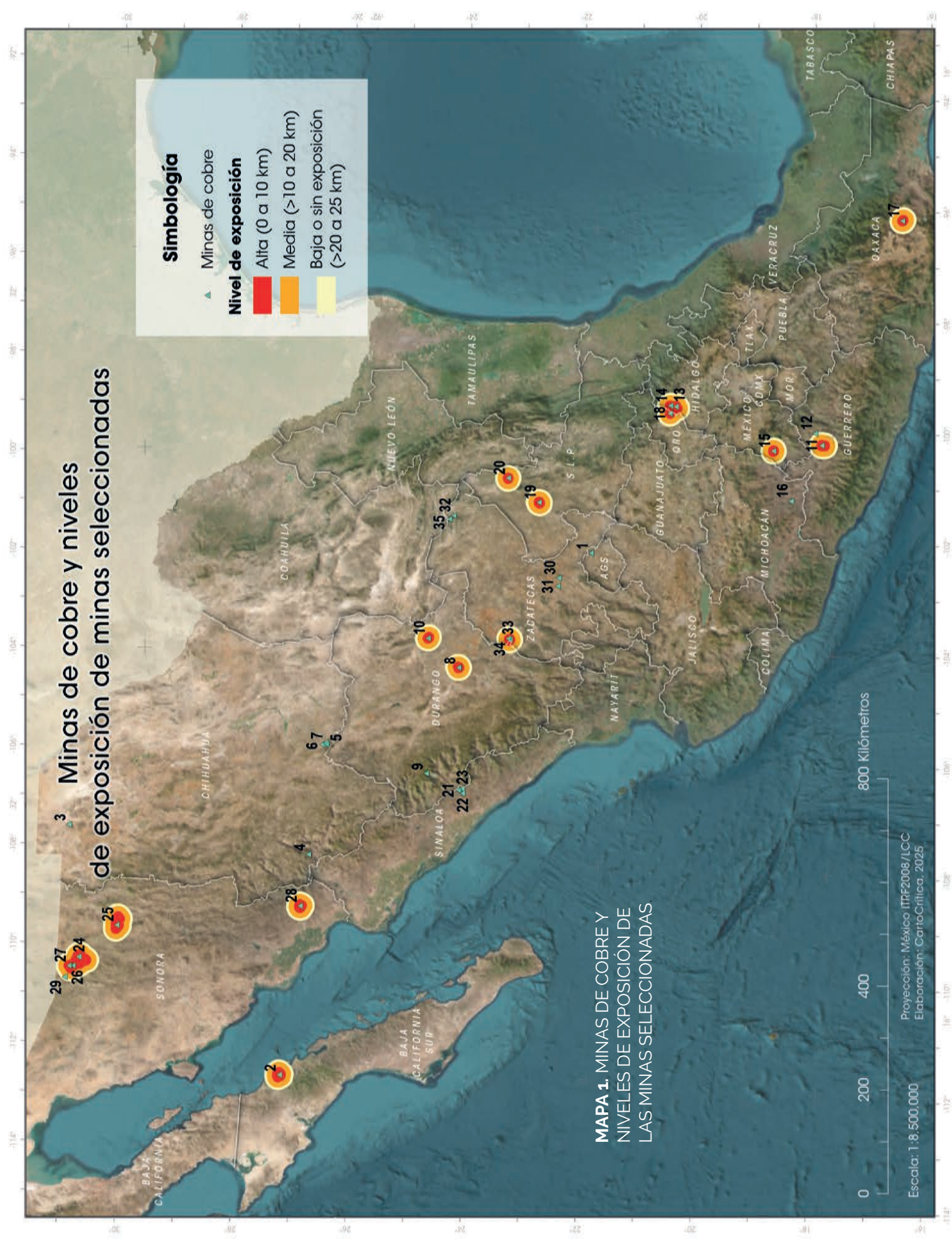
La selección de los rangos de exposición para el análisis estadístico se basa en los hallazgos de estudios previos que indican cómo la distancia a las minas afecta la concentración de metales pesados y otros contaminantes, así como el riesgo asociado a la salud.

Se identificaron patrones claros de exposición según la proximidad a las minas. Estudios como los de Ndilila et al. (2014) y Křibek et al. (2023) reportaron concentraciones significativamente más altas de metales pesados como cobalto, cobre y plomo en áreas cercanas a la minería, sugiriendo que las comunidades ubicadas a menos de 10 km presentan los niveles más altos de exposición. Asimismo, la investigación de Herrera et al. (2017) en Chile indicó que la proximidad a las minas de cobre y oro estaba asociada con un mayor riesgo de enfermedades respiratorias, particularmente en un rango cercano a las minas. Giri et al. (2019) también documentaron un riesgo considerable para la salud infantil en comunidades situadas cerca de zonas mineras, específicamente en un contexto donde la distancia desempeñaba un papel importante en la exposición a metales pesados en el agua subterránea.

Con base en estos estudios, se establecieron los siguientes rangos para clasificar los niveles de exposición con respecto de la distancia entre la localidad de residencia de las madres y su cercanía a las minas de cobre:

- **Exposición alta (0 a 10 km).** Este rango representa las áreas de mayor proximidad a las minas, donde se ha identificado un riesgo elevado de exposición a metales pesados debido a la liberación directa de contaminantes al aire, agua y suelo.
- **Exposición media (>10 a 20 km).** En este rango, los estudios han mostrado una disminución en la concentración de metales pesados, aunque persiste un riesgo considerable debido a la dispersión de contaminantes por medio del viento y el agua.
- **Exposición baja o sin exposición (>20 a 25 km).** En esta categoría se consideran las comunidades que, aunque cercanas, están lo suficientemente lejos de la fuente directa de contaminación como para que la exposición sea limitada o nula. Este grupo se utilizó como grupo de control en el análisis estadístico.

Estos rangos permiten evaluar el impacto diferencial de la proximidad a las minas de cobre en la salud de las poblaciones locales, particularmente en la incidencia de malformaciones congénitas en recién nacidos. En el mapa a continuación (Mapa 1) pueden verse la totalidad de las 35 minas de cobre, así como las 17 minas seleccionadas con base en los criterios descritos, que pueden identificarse porque tienen a su alrededor las áreas con los niveles de exposición. Por su cercanía, las áreas de exposición de algunas minas se traslapan, dando lugar a trece regiones de estudio. Los números en el mapa identifican a cada mina con respecto de la Tabla 1.



5.3.2 Selección y delimitación de nacimientos considerados en el estudio

Para conocer los nacimientos y sus características, se recopilaron e integraron los datos del Subsistema de Información sobre Nacimientos (SINAC), provenientes de la Dirección General de Información en Salud (DGIS) de la Secretaría de Salud de México (2024). Esta base de datos recopila los registros individuales de cada certificado de nacimiento del país, incluyendo datos de la madre como su edad, lugar de residencia, adscripción indígena, y número de embarazos, entre otras características, así como datos del recién nacido y del nacimiento, tales como fecha de nacimiento, peso, talla, padecimientos, entre otros. Los datos disponibles abarcan un periodo que va de 2008 a 2023. Sin embargo, los datos previos a 2017 no cuentan con clave geoestadística de la localidad, lo cual impide identificar con certeza su ubicación y, por lo tanto, fueron descartados.

Durante el periodo de 2017 a 2023 se registraron un total de 76,115 nacimientos de embarazo de producto único dentro del área de estudio, es decir, nacimientos dentro del área de exposición alta, media y baja de las 17 minas seleccionadas. La selección de una cohorte de nacimientos procedentes de un embarazo de producto único se hizo con el fin de obtener una población más homogénea, facilitando la comparación y evitando la variabilidad adicional que pueden traer consigo los partos múltiples.

En la Tabla 2 se presenta el desglose por entidad y nivel de exposición para los nacimientos seleccionados. La muestra entre grupos es relativamente homogénea, aunque con una mayor representación en el área de exposición media (32,764 nacimientos), seguida de la exposición alta (26,264 nacimientos) y baja (17,087 nacimientos).



Anónimo / Así se ve la minería en México

TABLA 2. NACIMIENTOS SELECCIONADOS DENTRO DEL ÁREA ESTUDIO POR ENTIDAD Y RANGO DE EXPOSICIÓN (2017-2023).

ENTIDAD	NIVEL DE EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE			TOTAL
	BAJA O SIN EXPOSICIÓN	MEDIA	ALTA	
	NACIMIENTOS			
Baja California Sur	69	61	1,266	1,396
Durango	4,715	1,781	734	7,230
Guerrero	865	3,838	320	5,023
Hidalgo	1,602	1,261	3,259	6,122
México	5,425	17,533	2,484	25,442
Michoacán	245	13		258
Oaxaca	841	2,518	239	3,598
Querétaro	1,434	1,386	1,138	3,958
San Luis Potosí	1,164	2,655	11,824	15,643
Sonora	42	1,357	4,979	6,378
Zacatecas	685	361	21	1,067
Total	17,087	32,764	26,264	76,115

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINAC

5.3.3 Padecimientos analizados

En este estudio se analizaron los datos de recién nacidos diagnosticados con alguna malformación congénita, deformidad o anomalía cromosómica al momento del nacimiento, utilizando la Clasificación Internacional de Enfermedades, Décima Edición (CIE-10), específicamente los códigos agrupados del Q00 al Q99 de esta clasificación. Estos códigos abarcan una amplia variedad de malformaciones congénitas, que incluyen alteraciones del sistema nervioso, circulatorio, respiratorio, osteomuscular, entre otros. Al momento del nacimiento en México, cualquier padecimiento se registra utilizando la CIE-10, lo que permite una clasificación sistemática y precisa, facilitando la identificación de patrones y la comparación de resultados en diferentes contextos y estudios. Además, se incluyeron datos agrupados relativos a condiciones generales del recién nacido, como talla baja, bajo peso al nacer, parto prematuro (subdividido también por categorías en extremo, alto y moderado), y puntuación APGAR. La categorización del parto prematuro en extremo, alto y moderado es común a los estudios de salud, pues permite analizar mejor las tendencias y facilita la identificación de los factores de riesgo asociados con diferentes grados de prematuridad (Blencowe et al., 2012). Esto es especialmente importante en el caso de partos extremos, donde las tasas de complicaciones son significativamente más altas (Norman et al., 2019).

Todos los datos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAC) de la Secretaría de Salud (2024) para cada uno de los nacimientos seleccionados del área de estudio.

Estos indicadores permiten evaluar tanto las malformaciones específicas presentes al momento del nacimiento como el estado general de salud del recién nacido, reflejando el posible impacto de la exposición a factores ambientales, como la proximidad a minas de cobre. A continuación, (Tabla 3) se presenta la distribución de los diagnósticos analizados según el nivel de exposición a las minas de cobre:



Arbyreed / Flickr

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE DIAGNÓSTICOS Y RESULTADOS NEONATALES SEGÚN NIVEL DE EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE.

	NIVEL DE EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE			
TIPO DE DIAGNÓSTICO AL NACIMIENTO	BAJA O SIN EXPOSICIÓN >20 KM A 25 KM	MEDIA >10 A 20 KM	ALTA o A 10 KM	TOTAL
	NACIMIENTOS DE PRODUCTO ÚNICO			
Total de nacimientos de embarazo de producto único	17,087	32,764	26,264	76,115
MALFORMACIONES CONGÉNITAS (CLASIFICACIÓN CIE-10)				
Q00 - Q07 Malformaciones congénitas del sistema nervioso	9	26	11	46
Q10 - Q18 Malformaciones congénitas de los ojos, oído, cara y cuello	18	42	21	81
Q20 - Q28 Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	2	10	12	24
Q30 - Q34 Malformaciones congénitas del sistema respiratorio	1	2	1	4
Q35 - Q37 Fisura del paladar y labio leporino	10	23	25	58
Q38 - Q45 Otras malformaciones congénitas del sistema digestivo	5	13	5	23
Q50 - Q56 Malformaciones congénitas de los órganos genitales	19	41	20	80
Q60 - Q64 Malformaciones congénitas del sistema urinario	2	7	4	13
Q65 - Q79 Malformaciones y deformidades congénitas del sistema osteomuscular	37	149	112	298
Q80 - Q89 Otras malformaciones congénitas	8	20	17	45
Q90 - Q99 Anomalías cromosómicas no clasificadas en otra parte	11	16	9	36
RESULTADOS NEONATALES				
APGAR bajo	122	230	137	489
Bajo peso al nacer	962	1,802	1,505	4,269
Talla baja al nacer	199	418	355	972
Parto prematuro agrupado (<37 semanas)	1,127	2,223	1,897	5,247
PARTO PREMATURO POR CATEGORÍAS				
Parto prematuro extremo (<28 semanas)	34	68	84	186
Parto prematuro alto (28 a <32 semanas)	95	169	159	423
Parto prematuro moderado (32 a <37 semanas)	998	1,986	1,654	4,638

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINAC.

5.4 Variables de ajuste utilizadas en la regresión logística

Para analizar los efectos de la exposición a la minería de cobre en la salud de los recién nacidos, se introdujeron diversas variables de ajuste en la regresión logística, con el objetivo de considerar otros factores que podrían influir en los resultados y confundir la relación entre la exposición a las actividades mineras y los padecimientos neonatales. Estas variables permiten ajustar y evaluar los resultados de los modelos para que el efecto observado sea asociado principalmente a la exposición a la minería y no a otros factores no relacionados.

Las variables de ajuste utilizadas en la regresión logística fueron las siguientes:

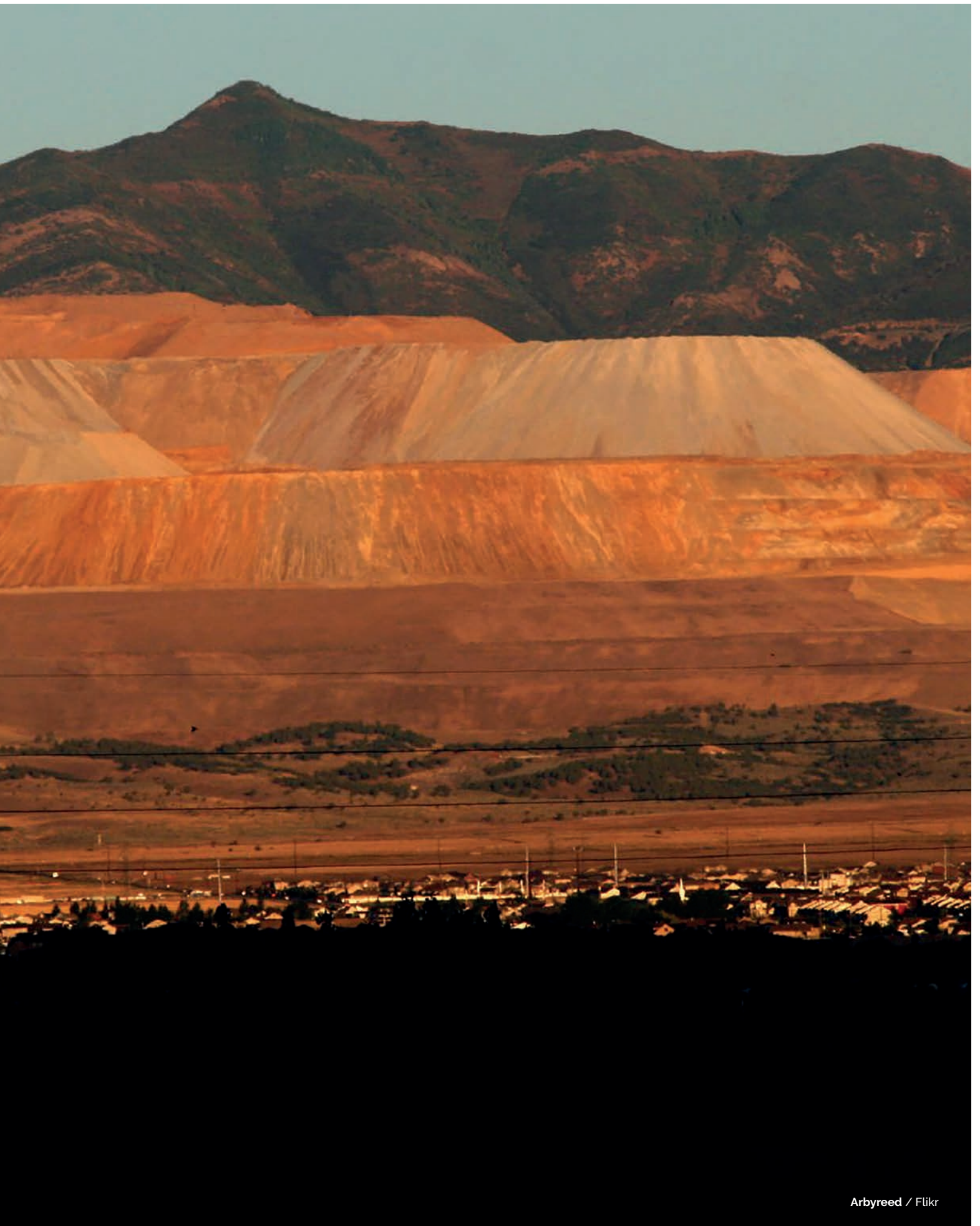
- a) **Auto adscripción indígena de la madre:** Considerada por su relación con el acceso a servicios de salud y otros determinantes sociales que pueden afectar los resultados perinatales. Esta información proviene de los datos del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAC).
- b) **Número de embarazos (incluyendo el actual):** Se incluyó para controlar el posible impacto de embarazos previos en la salud del recién nacido, ya que múltiples embarazos pueden aumentar el riesgo de complicaciones. Estos datos también fueron obtenidos del SINAC.
- c) **Nivel escolar de la madre:** El nivel educativo está relacionado con el acceso a información y recursos para el cuidado prenatal, afectando los resultados de salud del bebé. Esta variable proviene de los datos del SINAC.
- d) **Grupo de edad de la madre:** La edad materna es un factor importante que puede influir en la probabilidad de complicaciones durante el embarazo y parto. Los datos fueron obtenidos del SINAC.
- e) **Altitud de la localidad de residencia de la madre:** La altitud puede tener efectos sobre el desarrollo fetal debido a la disponibilidad de oxígeno, por lo que se incluyó para ajustar posibles efectos de altitud. Esta información proviene del Censo de Población y Vivienda 2020 de INEGI.
- f) **Superficie de agricultura de riego en el área de influencia de la mina:** Indicador del posible uso de agroquímicos que podrían influir en la exposición a contaminantes, especialmente en áreas rurales. Esta variable se obtuvo de la fusión de las coberturas de la Frontera Agrícola Serie IV, elaborada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022), y de los distritos de riego (Conagua, 2023).

Es importante mencionar que existen otros indicadores relevantes, como el nivel socioeconómico, consumo de tabaco o alcohol durante el embarazo, que no se pudieron incluir debido a la falta de esta información en las bases de datos públicas disponibles. A continuación (Tabla 4), se presenta la distribución de los datos de las variables de ajuste utilizadas para las áreas de estudio, correspondientes a los nacimientos de 2017 a 2023.

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE NACIMIENTOS POR VARIABLES DE AJUSTE UTILIZADAS EN LA REGRESIÓN LOGÍSTICA.

CATEGORÍA	NIVEL DE EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE			TOTAL
	BAJA O SIN EXPOSICIÓN	MEDIA	ALTA	
	NÚMERO DE NACIMIENTOS DE PRODUCTO ÚNICO			
Auto adscripción indígena de la madre				
Sí	1,560	2,387	1,071	5,018 (7%)
No	15,382	30,174	25,038	70,594 (93%)
Número de embarazos (incluyendo el actual)				
Uno	5,764	11,100	8,761	25,625 (34%)
Dos a tres	8,649	16,550	13,498	38,697 (51%)
Más de tres	2,672	5,113	4,005	11,790 (15%)
Nivel escolar de la madre				
Hasta primaria	2,362	4,770	1,998	9,130 (12%)
Hasta preparatoria	12,283	22,035	19,278	53,596 (71%)
Licenciatura o posgrado	2,299	5,462	4,751	12,512 (17%)
Grupo de edad de la madre				
18 años o menos	2,278	4,336	3,064	9,678 (13%)
19 a 39 años	14,462	27,733	22,687	64,882 (85%)
40 o más años	347	694	513	1,554 (2%)
Altitud por rangos de la localidad de residencia de la madre				
0 - 500 msnm	955	4,882	1,540	7,377 (10%)
501 - 1,500 msnm	1,970	12,722	4,153	18,845 (25%)
1,501 - 2,500 msnm	14,109	14,428	20,338	48,875 (64%)
2,501 - 3500 msnm	53	732	233	1,018 (1%)
Superficie de agricultura de riego en el área de influencia de la mina				
0 - 2,000 ha	2,381	3,228	4,825	10,434 (14%)
2,001 - 4,000 ha	4,144	6,053	15,382	25,579 (34%)
4,001 - 6,000 ha	1,497	1,091	2,980	5,568 (7%)
6,001 - 8,000 ha	8,071	18,554	2,757	29,382 (39%)
26,000 - 28,000 ha	994	3,838	320	5,152 (7%)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SINAC (2024), INEGI (2022), CONAGUA (2023) y SIAP (2022)





RESULTADOS

Arbyreed / Flickr

6. RESULTADOS

En este estudio se emplearon una serie de regresiones logísticas realizadas con el software estadístico *Epi Info* del Centers for Disease Control and Prevention (CDC, 2024) para evaluar la asociación entre la proximidad a minas de cobre y diferentes padecimientos en los recién nacidos, tomando en consideración las variables de ajuste de la Tabla 4. A diferencia de una correlación simple, que solo mide la fuerza de la asociación entre dos variables, la regresión logística es una herramienta estadística ampliamente utilizada en estudios epidemiológicos debido a su capacidad para analizar la relación entre una variable de exposición y un resultado de salud, al tiempo que permite simultáneamente ajustar el resultado con otras variables que podrían influir en esa relación. El resultado de esta asociación se expresa mediante Odds Ratios (OR o razón de momios)³, que nos permiten cuantificar cuán propenso es un recién nacido a presentar una condición específica si su madre estuvo expuesta a la actividad minera durante el embarazo, en comparación con aquellos recién nacidos no expuestos. Cabe destacar que el grupo de control, al que nos referimos como "sin exposición" o "no expuesto", corresponde al que se definió en la metodología como "exposición baja o sin exposición" es decir, a las comunidades situadas a una distancia de >20 a 25 km de las minas de cobre seleccionadas, donde se considera que la exposición es limitada, aunque no necesariamente inexistente. Este grupo se utilizó como grupo de control en el análisis estadístico.

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los principales resultados de las regresiones logísticas. La tabla muestra los resultados para los niveles de exposición media y alta a las minas de cobre, incluyendo valores de OR, intervalos de confianza (IC), y el valor *p* del OR. Así mismo, la tabla muestra el riesgo basal (en porcentaje) para cada padecimiento neonatal en el grupo sin exposición. Estos indicadores y su interpretación se explican a continuación.

³ Los odds ratio (OR) son una medida estadística que compara la razón de probabilidades de que ocurra un evento (como una enfermedad) en un grupo expuesto a cierto agente, respecto a la razón de probabilidades en un grupo no expuesto. Un OR mayor a 1 indica una mayor asociación entre la exposición y el evento; un OR menor a 1 sugiere un posible efecto protector.



El riesgo basal o riesgo de referencia representa la prevalencia del padecimiento en los recién nacidos cuyas madres residen en el área del grupo de control. Es decir, es el porcentaje de los recién nacidos “no expuestos” que presentan el padecimiento en cuestión. Este valor es fundamental para interpretar la magnitud del impacto de la exposición, ya que inclusive un OR bajo puede tener un impacto absoluto considerable si el riesgo basal es alto. Un OR mayor a 1 indica que el grupo expuesto es más propenso a desarrollar el padecimiento en comparación con el grupo no expuesto. Este OR puede interpretarse como el porcentaje de aumento o disminución del riesgo. Por ejemplo, un OR de 2 indica un aumento de 100% en la propensión a desarrollar la condición, mientras que un OR de 1.5 indica un incremento de 50%, con respecto del grupo de control. Por otro lado, un OR igual a 1 indica que no hay diferencia entre los grupos con y sin exposición, mientras que un OR menor a 1 indica una reducción del riesgo en comparación con el grupo de control.

En este estudio, los OR que presentamos están ajustados, lo cual significa que hemos tenido en cuenta otros factores que podrían influir como la edad de la madre, el número de embarazos previos, y otros factores descritos en la metodología. La interpretación de los OR se complementa con los intervalos de confianza (IC) del 95%, que nos permiten entender la precisión del OR estimado y el rango de valores posibles. Si el rango del intervalo de confianza no va de menos a más de 1, podemos considerar que la asociación es estadísticamente significativa, ya que un rango que va de menos a más de 1 indicaría que no hay diferencia en el riesgo entre los grupos. Por ejemplo, si el OR es 2 y el IC es de (1.5 - 3.0), el rango del IC no incluye el 1, por lo que es significativo, y sugiere que el grupo expuesto tiene entre 1.5 y 3 veces más propensión a presentar la condición específica. Además, el valor p del OR nos proporciona una medida de la significancia estadística de la relación observada. Un valor p menor o igual a 0.05 indica que es poco probable que el resultado sea debido al azar, sugiriendo una asociación relevante entre las variables de exposición y el resultado de salud.

En síntesis, si el OR es mayor que 1, si el IC no incluye el valor 1, y el valor p del padecimiento es menor o igual a 0.05 entonces estamos frente a una asociación definitivamente significativa sobre el impacto de la proximidad a las minas de cobre en los recién nacidos en México.

En la Tabla 5 podemos observar un uso de colores que facilita la interpretación de los resultados. La columna de OR ajustado utiliza un gradiente de color amarillo de menor a mayor intensidad para aquellos valores de OR mayores que uno, lo que permite identificar fácilmente el nivel de incremento del riesgo asociado. Los intervalos de confianza (IC) y los valores p se destacan en color verde cuando son estadísticamente significativos.

TABLA 5. RESULTADOS PRINCIPALES DE LAS REGRESIONES LOGÍSTICAS PARA LA ASOCIACIÓN ENTRE LA EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE Y PADECIMIENTOS EN RECIÉN NACIDOS.

PADECIMIENTO	RIESGO BASAL (%)	EXPOSICIÓN MEDIA (>10 A 20 KM)			EXPOSICIÓN ALTA (<=10 KM)		
		OR AJUSTADO	IC 95%	VALOR P	OR AJUSTADO	IC 95%	VALOR P
MALFORMACIONES CONGÉNITAS (CLASIFICACIÓN CIE-10)							
Malformaciones congénitas del sistema nervioso	0.05%	1.62	(0.75 - 3.53)	0.22	0.64	(0.25 - 1.63)	0.35
Malformaciones congénitas de los ojos, oído, cara y cuello	0.11%	1.32	(0.74 - 2.36)	0.35	0.75	(0.39 - 1.46)	0.40
Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	0.01%	3.01	(0.65 - 13.93)	0.16	4.66	(1.01 - 21.43)	≤0.05
Malformaciones congénitas del sistema respiratorio	0.01%	1.07	(0.09 - 12.75)	0.96	0.50	(0.03 - 8.77)	0.63
Fisura del paladar y labio leporino	0.06%	1.29	(0.61 - 2.75)	0.51	1.56	(0.73 - 3.34)	0.26
Otras malformaciones congénitas del sistema digestivo	0.03%	1.32	(0.45 - 3.84)	0.61	0.63	(0.16 - 2.44)	0.50
Malformaciones congénitas de los órganos genitales	0.11%	1.07	(0.61 - 1.88)	0.82	0.60	(0.31 - 1.15)	0.12
Malformaciones congénitas del sistema urinario	0.01%	1.93	(0.39 - 9.57)	0.42	1.12	(0.2 - 6.46)	0.90
Malformaciones y deformidades congénitas del sistema osteomuscular	0.22%	2.26	(1.56 - 3.27)	≤0.005	1.81	(1.23 - 2.67)	≤0.005
Otras malformaciones congénitas	0.05%	1.76	(0.73 - 4.22)	0.21	1.47	(0.59 - 3.65)	0.41
Anomalías cromosómicas no clasificadas en otra parte	0.06%	0.71	(0.31 - 1.62)	0.41	0.67	(0.26 - 1.73)	0.41
RESULTADOS NEONATALES							
APGAR bajo	0.72%	1.01	(0.8 - 1.28)	0.94	0.89	(0.68 - 1.16)	0.39
Bajo peso al nacer	5.94%	1.04	(0.96 - 1.13)	0.32	1.06	(0.97 - 1.15)	0.23
Talla baja	1.17%	1.13	(0.95 - 1.35)	0.16	1.16	(0.96 - 1.39)	0.11
Parto prematuro agrupado (<37 semanas)	6.60%	1.06	(0.98 - 1.14)	0.14	1.12	(1.03 - 1.21)	≤0.05
PARTO PREMATURO POR CATEGORÍAS							
Extremo (<28 semanas)	0.20%	1.08	(0.71 - 1.65)	0.73	1.56	(1.03 - 2.37)	≤0.05
Alto (28 a <32 semanas)	0.56%	0.97	(0.75 - 1.27)	0.84	1.10	(0.84 - 1.44)	0.48
Moderado (32 a <37 semanas)	5.84%	1.07	(0.98 - 1.16)	0.13	1.10	(1.01 - 1.2)	≤0.05

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología descrita.



Los resultados del análisis (Tabla 5) indican asociaciones significativas para varias condiciones de salud en los recién nacidos, dependiendo del nivel de exposición a las minas de cobre. Uno de los resultados más alarmantes por su alto riesgo basal (6.6% en el grupo de control) es el parto prematuro.

Se observó que la exposición alta se asoció con un incremento significativo de 56% del riesgo de parto prematuro extremo (OR ajustado de 1.56, IC 95%: 1.03 - 2.37, valor $p \leq 0.05$). Además, el parto prematuro moderado también mostró un aumento significativo en el nivel de exposición alta, con un OR de 1.10 (IC 95%: 1.01 - 1.22, valor $p \leq 0.05$). Estos resultados sugieren que la exposición a las minas puede tener un impacto importante en la propensión a nacimientos prematuros, particularmente en los casos de mayor gravedad.

Otro hallazgo alarmante y significativo se refiere al aumento de la prevalencia de las malformaciones congénitas del sistema osteomuscular, tanto en la exposición media como en la exposición alta. En comparación con el grupo de control, la exposición media a la minería llevó a los recién nacidos a ser 126% más propensos a presentar malformaciones osteomusculares (OR ajustado de 2.26, IC 95%: 1.56 - 3.27, valor $p \leq 0.005$), mientras que la exposición alta se relaciona con un incremento de 81% en el riesgo (OR ajustado de 1.81, IC 95%: 1.23 - 2.67, valor $p \leq 0.005$).



El sistema circulatorio también mostró un incremento significativo de riesgo en el nivel de exposición alta. Los recién nacidos cuyas madres residían a menos de 10 km de una mina de cobre vieron un incremento de 366% en el riesgo de padecer una malformación del sistema circulatorio en comparación con el grupo de control (OR ajustado de 4.66, IC 95%: 1.01 - 21.43, valor $p \leq 0.05$). Este es el OR más alto observado en el estudio, lo cual sugiere una relación muy fuerte entre la exposición a la minería y este tipo de malformaciones.

Si bien el intervalo de confianza es amplio, lo que indica una gran variabilidad en la magnitud del impacto, el valor p y el valor elevado del OR señalan una asociación preocupante que merece atención.

En cuanto a otros resultados neonatales, se observaron asociaciones que, aunque el intervalo de confianza no resultó significativo, muestran un patrón cercano a la significancia. Este es el caso de la exposición media y alta para bajo peso al nacer y talla baja, así como para el parto prematuro (agrupado, extremo y moderado) en exposición media. Que, aunque no son significativos, se encuentran muy cerca de serlo y sugieren una posible relación que requiere de estudios futuros con muestras más grandes para confirmar o descartar estas asociaciones potenciales.



DISCUSIÓN

Carlos Ariel Ojeda / Así se ve la minería en México.

7. DISCUSIÓN

La creciente demanda mundial de cobre, impulsada por la tecnología de la transición energética, ha intensificado la actividad minera, lo que aumenta el riesgo de contaminación por metales pesados. Ante ello, este estudio examinó la posible relación entre la exposición a la minería de cobre y la salud de los recién nacidos en México.

Un hallazgo preocupante es la asociación entre la proximidad a las minas de cobre y el aumento en el riesgo de partos prematuros, que es la principal causa de muerte en niños menores de 5 años a nivel mundial.

El análisis reveló que los bebés cuyas madres residen a menos de 10 km de una mina de cobre tienen 12% más de riesgo de nacer prematuramente con respecto al grupo de control.

Esta vulnerabilidad se acentúa en países de bajos ingresos donde la falta de cuidados básicos aumenta la mortalidad de bebés prematuros, incluso aquellos con prematuridad moderada o tardía.

El estudio también destaca un aumento significativo de 56% en el riesgo de parto prematuro extremo (antes de las 28 semanas de gestación) para bebés cuyas madres viven cerca de minas, en estos casos, la probabilidad de sobrevivencia de los niños nacidos en estas condiciones es de menos de 50%, incluso con cuidados intensivos (Blencowe et al., 2012).

Estos resultados subrayan la gravedad de la exposición a contaminantes mineros y su potencial para impactar la salud neonatal de manera significativa. La evidencia sugiere que la exposición a metales pesados, incluyendo el cobre y el plomo, podría afectar el desarrollo feto-placentario, comprometiendo la capacidad de llegar a una gestación a término. Estos hallazgos se alinean con estudios que destacan la importancia de factores ambientales en la salud perinatal, aunque la evidencia específica sobre el parto prematuro extremo en el contexto de minería es limitada y merece mayor investigación.

La investigación también encontró un vínculo alarmante entre la exposición a la minería de cobre y el riesgo de malformaciones congénitas. Específicamente, se observó una asociación significativa con malformaciones en los sistemas osteomuscular y circulatorio.



El riesgo de malformaciones osteomusculares se incrementa 126% para bebés cuyas madres viven entre 10 y 20 km de una mina, y 81% para aquellos que viven a menos de 10 km. Estas malformaciones tienen un impacto significativo en la calidad de vida de los niños afectados, debido a la necesidad de intervenciones médicas y rehabilitación.

Aunque no todos los estudios previos han abordado este tipo específico de malformaciones en relación con la minería, algunos estudios han mostrado asociaciones entre la exposición a metales pesados y defectos de nacimiento en regiones mineras, lo cual sugiere que la exposición a estos contaminantes puede tener un papel importante en el desarrollo de condiciones congénitas adversas. Otros estudios previos también han relacionado la contaminación por metales pesados en áreas mineras con malformaciones cerebrales graves como la holoprosencefalia (Kayembe-Kitenge et al., 2019; Mudekereza et

al., 2021). En nuestro estudio, la exposición media parece mostrar un mayor impacto comparado con la exposición alta, lo cual podría explicarse por patrones de dispersión de contaminantes que permiten su acumulación en áreas determinadas. Los contaminantes atmosféricos, hídricos y edáficos generados por actividades mineras pueden dispersarse de manera desigual, creando zonas de acumulación que no necesariamente están más cerca de la fuente. Este fenómeno podría deberse a factores como la topografía, patrones de viento o comportamiento hidrogeológico (Delgado-Caballero y Alarcón-Herrera, 2013) o incluso de la ingesta de alimentos contaminados.



Laura Arvizu / Así se ve la minería en México



Santiago Martínez / Así se ve la minería en México

Por ejemplo, las operaciones mineras a cielo abierto liberan partículas en suspensión de las cuales se han identificado radios de dispersión de hasta 14 kilómetros desde la fuente de emisión, y en el caso de las minas de cobre, las emisiones de partículas suspendidas y de PM₁₀ (partículas finas de hasta 10 micrómetros de diámetro) son de unos 3.2 y 0.9 kg por tonelada de cobre producida respectivamente (Khazini et al., 2020).

Esta dispersión puede tener un efecto indirecto en comunidades ubicadas a cierta distancia de la fuente, creando focos de exposición más concentrados. Sin embargo, esta hipótesis requiere mayor investigación y evidencia sólida para ser confirmada.

En cuanto a las malformaciones del sistema circulatorio, el riesgo se dispara a un alarmante 366% para los bebés cuyas madres residen a menos de 10 km de una mina. Las malformaciones del sistema circulatorio suelen tener implicaciones graves para la salud y requieren intervenciones médicas tempranas, lo que incrementa la carga sobre las familias y los sistemas de salud. Los resultados obtenidos concuerdan con el estudio previamente citado de Brusselen et al. (2020), donde se establece la relación significativa entre altas concentraciones de manganeso y zinc en el cordón umbilical con malformaciones congénitas, siendo que ambos metales son subproductos potenciales de la minería de cobre y del drenaje ácido de mina (Filimon et al. 2016). El aumento de este riesgo también puede explicarse por la exposición a otros metales pesados, como cadmio, cromo, plomo y arsénico, liberados durante la extracción y procesamiento del cobre, pues estudios internacionales han señalado que estos metales, al acumularse en la placenta o ser transferidos al feto a través del cordón umbilical, pueden interrumpir la



Laura Arvizu / Así se ve la minería en México

angiogénesis⁴ y la diferenciación celular, procesos esenciales para el desarrollo del corazón y los vasos sanguíneos primarios (Gundacker & Hengstschläger, 2012; Li, X. et al., 2022). Además, se ha observado que la acumulación de metales pesados en la placenta está asociada con un mayor riesgo de complicaciones como la restricción del crecimiento intrauterino y preeclampsia, condiciones que también pueden estar vinculadas a alteraciones en la diferenciación celular y al parto prematuro (Giordano et al., 2023; Rduch et al., 2022; Gómez-Roig et al., 2021). Si bien el estudio no establece una relación causal definitiva, estos hallazgos subrayan la necesidad de más investigaciones, sobre todo ampliando las ventanas de tiempo con registros históricos dada la bioacumulación de largo plazo de estos elementos. Cabe recordar que el tiempo que tarda en alcanzarse una concentración tóxica depende de varios factores, incluyendo la vía de exposición, la cantidad de metal presente en el ambiente, y la susceptibilidad individual.

En general, la toxicidad de estos metales se relaciona con su capacidad de bioacumularse en los tejidos, tanto de humanos, como de plantas y animales que terminan siendo alimentos ingeridos por las madres gestantes en este caso, y su interacción con procesos biológicos esenciales. Es crucial destacar que las malformaciones congénitas tienen consecuencias devastadoras para la salud y desarrollo de los niños, impactando su calidad de vida y la de sus familias.

La situación en México es especialmente preocupante debido a las limitaciones de la regulación ambiental del sector minero. La rápida expansión de la industria, impulsada por el incremento constante de la demanda de cobre, ha generado dudas sobre su sostenibilidad. El aumento en la superficie ocupada por minas de cobre en México, que se cuadruplicó entre 2010 y 2023, no siempre se ha traducido en un aumento proporcional en la producción. Esto sugiere desafíos en la eficiencia y gestión del territorio minero, y puede ser ocasionado por la disminución en la concentración del mineral, que implica la extracción y procesamiento de más roca para obtener la misma cantidad de cobre, aumentando el consumo de energía y los impactos ambientales (Deniau et al., 2024).

.....
4 Formación de vasos sanguíneos nuevos.



En México, la regulación ambiental de la minería presenta fuertes limitaciones y vacíos. La falta de transparencia y el incumplimiento ambiental en el sector minero es evidente. Una revisión de CartoCrítica (2023) documentó que el 38% de las minas metálicas no cuentan con evaluaciones de impacto ambiental, o que las operaciones mineras metálicas en su mayoría no reportan la emisión de contaminantes al aire, agua, o suelo (con tasas de incumplimiento de 61%, 80% y 82% respectivamente). Esta falta de estudios y reportes tiene consecuencias directas para las comunidades cercanas, ya que sin un monitoreo adecuado y evaluación de los impactos ambientales mineros, permanecen expuestas a riesgos significativos para su salud, sin conocer las fuentes ni la magnitud de la contaminación. Incluso la reforma legislativa de 2023 a la Ley de Minería que trajo algunos avances a favor de la consulta y el consentimiento de pueblos originarios, o sobre la prohibición de la minería en Área Naturales Protegidas, fue impugnada ante la Suprema Corte de Justicia de la Nación poco después de su publicación.

El diseño transversal del estudio no permite establecer una relación causal definitiva entre la exposición a la minería de cobre y los problemas de salud neonatal considerados. Para ello se necesitan estudios longitudinales con seguimiento a largo plazo para confirmar estos hallazgos y para entender mejor los mecanismos específicos por los cuales la exposición a la minería de cobre afecta la salud neonatal. Sin embargo, sí permite encontrar asociaciones estadísticas rigurosas en concordancia con estudios de otras partes del mundo. Por ello, es crucial implementar intervenciones de salud pública que proporcionen atención médica a las comunidades afectadas, así como fortalecer el monitoreo de la calidad del agua, aire y suelo en las zonas cercanas a las minas.

Es fundamental recordar que los efectos de la contaminación por metales pesados se agravan en contextos de pobreza, falta de acceso a servicios de salud y desnutrición. Estas condiciones son habituales en las comunidades cercanas a las minas (Olivera & Téllez, 2025) y crean un círculo vicioso de vulnerabilidad, especialmente para mujeres embarazadas e infancias.

An abstract painting depicting a mine tunnel. The composition is dominated by a large, light-colored circular area that resembles a tunnel's interior, with various shades of beige, tan, and light blue. This central circle is set against a darker, more textured background of brown, blue, and grey. Two smaller, dark circular highlights are positioned within the main circle, one near the top and one near the bottom, creating a sense of depth and perspective. The overall style is expressive, with visible brushstrokes and a rich, layered texture. On the far left edge, there is a vertical strip of color consisting of orange, green, and red segments.

COMENTARIOS FINALES

Lucía Vergara García / Así se ve la minería en México

8. COMENTARIOS FINALES

Este estudio revela una asociación preocupante entre la proximidad a minas de cobre y el aumento del riesgo de parto prematuro, especialmente parto prematuro extremo, y malformaciones congénitas del sistema osteomuscular y circulatorio en recién nacidos en México. Aunque se necesitan más investigaciones para confirmar una relación causal, los hallazgos son alarmantes y subrayan la necesidad urgente de intervenciones políticas y públicas que reduzcan la exposición a contaminantes mineros, protegiendo la salud de las poblaciones vulnerables y promoviendo un desarrollo saludable en las comunidades afectadas.

Los resultados demandan una acción coordinada e inmediata de las instituciones públicas para proteger la salud de las comunidades más vulnerables frente a los impactos de la minería de cobre. Es imprescindible establecer estándares estrictos para las operaciones mineras, incluyendo la prohibición de prácticas altamente perjudiciales, como la minería a cielo abierto.

Al mismo tiempo, las empresas mineras deben asumir los costos sociales y ambientales de sus actividades, mientras que los mecanismos de monitoreo y cumplimiento se deben reforzar para garantizar la calidad del agua, el aire y el suelo en las regiones afectadas. Es indispensable sistematizar y hacer pública la rendición de cuentas de este sector, garantizando transparencia en sus operaciones y una reparación efectiva de los daños causados a las comunidades y al entorno, pero sobre todo se debe priorizar la prevención de daños, pues no hay forma de compensar plenamente una malformación congénita o una calidad de vida irreversiblemente afectada, impactos que trascienden lo reparable y cuestionan la responsabilidad ética de las empresas mineras.

También es necesario actualizar y fortalecer las leyes relacionadas con la minería para evitar el acaparamiento de recursos, garantizar el acceso a agua suficiente para las comunidades locales y establecer límites claros al uso del territorio. Estas reformas deben centrarse en proteger el bienestar de las comunidades sobre los intereses económicos. Paralelamente, el sistema judicial debe garantizar que las reformas ambientales y sociales no se vean socavadas por intereses privados, asegurando que la protección de las comunidades prevalezca.

El derecho a la salud de las poblaciones expuestas debe ser prioritario, con acceso garantizado a los recursos naturales libres de tóxicos y a servicios médicos de calidad que incluyan prevención, diagnóstico temprano y tratamiento adecuado de las afecciones relacionadas con la exposición a metales pesados. La minería y la transición energética no deben convertirse en excusas para sacrificar el bienestar de las comunidades.

Por último, es clave promover la participación ciudadana informada. Las comunidades deben tener acceso a información clara y completa sobre los riesgos de la minería, lo que les permita tomar decisiones fundamentadas sobre el uso de sus recursos y sobre su propio futuro. Solo así se evitará que las comunidades vulnerables de las zonas mineras sean nuevamente convertidas en zonas de sacrificio.





Lucía Vergara García / Así se ve la minería en México

Listado de tablas y mapas

Tablas

TABLA 1. PRODUCCIÓN MEDIA ANUAL Y CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LAS MINAS DE COBRE EN MÉXICO.	28
TABLA 2. NACIMIENTOS SELECCIONADOS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO POR ENTIDAD Y RANGO DE EXPOSICIÓN (2017-2023).	32
TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE DIAGNÓSTICOS Y RESULTADOS NEONATALES SEGÚN NIVEL DE EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE.	34
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE NACIMIENTOS POR VARIABLES DE AJUSTE UTILIZADAS EN LA REGRESIÓN LOGÍSTICA.	36
TABLA 5. RESULTADOS PRINCIPALES DE LAS REGRESIONES LOGÍSTICAS PARA LA ASOCIACIÓN ENTRE LA EXPOSICIÓN A MINAS DE COBRE Y PADECIMIENTOS EN RECIÉN NACIDOS.	41

Mapas

MAPA 1. MINAS DE COBRE Y NIVELES DE EXPOSICIÓN DE LAS MINAS SELECCIONADAS.	30
--	-----------



Laura Arvizu / Así se ve la minería en México

Referencias

- Brusselen, D. V., KayembeKitenge, T., Mbuyi-Musanzayi, S., Kasole, T. L., Ngombe, L. K., Obadia, P. M., ... & Nemery, B. (2020). Metal mining and birth defects: a case-control study in Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo. *The Lancet Planetary Health*, 4(4), e158-e167. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(20\)30059-0](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(20)30059-0)
- Blencowe, H., Cousens, S., Oestergaard, M., Chou, D., Moller, A., Narwal, R., Adler, A., Vera, C., Rohde, S., Say, L. & Lawn, J. (2012). National, regional, and worldwide estimates of preterm birth rates in the year 2010 with time trends since 1990 for selected countries: a systematic analysis and implications. *The Lancet*, 379(9832), 2162-2172. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(12\)60820-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(12)60820-4)
- Calvo, G., Valero, A., Valero, A., & Arranz, A. (2016). Decreasing ore grades in global metallic mining: A theoretical issue or a global reality? *Resources*, 5(4), 36. <https://doi.org/10.3390/resources5040036>
- Cámara Minera de México (Camimex). (2011-2024). *Informe anual*.
- CartoCritica. (2023). *Cartografía de las operaciones mineras en México y su gestión ambiental*. <https://mineria.cartocritica.org.mx/>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). *Epi Info™ (Versión 7.2.6.0)* [Software de computadora]. <https://www.cdc.gov/epiinfo>
- Conagua. (2023). *Distritos de riego*. SINA 3.0.
- Conagua. (2024). *Registro Público de Derechos de Agua (REPGA)*.
- Delgado-Caballero, M. R., & Alarcón-Herrera, M. T. (2013). Dispersión de contaminantes por residuos mineros hacia una zona habitacional. Memorias del IV Seminario Internacional del Medio Ambiente: Nuevos Desarrollos y Tecnologías Ambientales. Universidad de Pamplona. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1692/1/Colombia-Exten-soRosario%20Delgado.pdf>
- Deniau, Y., Llano, M., Ferrari, L. y Flores Lot, C. (2024). *El cobre como mineral estratégico y el papel de México: implicaciones para los escenarios de transición energética*. México: Pronace ecc-Conahcyt. <https://secihti.mx/cuaderno-tematico-11/>
- Filimon et al. "Environmental impact of mining activity in Bor area as indicated by the distribution of heavy metals and bacterial population dynamics in sediment" Knowledge and management of aquatic ecosystems (2016) <https://doi.org/10.1051/kmae/2016017>

- Giri, S., Singh, A. K., & Mahato, M. K. (2019). Monte Carlo simulation-based probabilistic health risk assessment of metals in groundwater via ingestion pathway in the mining areas of Singhbhum copper belt, India. *International Journal of Environmental Health Research*. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1599101>
- Giordano, G., Gullo, G., Scaglione, M., Buzzaccarini, G., Cucinella, G., Gullo, D., Segreto, D., Chiantera, V., & Laganà, A. S. (2023). Transplacental permeability of heavy metals in relation to newborn sex – evidence from the neurodevelopment project. *Menopause Review/Przegląd Menopauzalny*, 22(1), 30-36. <https://doi.org/10.5114/pm.2023.126437>
- Gómez-Roig, M., Pascal, R., Cahuana, M., Garcia-Algar, Ó., Sebastiani, G., Andreu-Fernández, V., ... & Vento, M. (2021). Environmental exposure during pregnancy: influence on prenatal development and early life: a comprehensive review. *Fetal Diagnosis and Therapy*, 48(4), 245-257. <https://doi.org/10.1159/000514884>
- Gundacker, C. and Hengstschläger, M. (2012). The role of the placenta in fetal exposure to heavy metals. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 162(9-10), 201-206. <https://doi.org/10.1007/s10354-012-0074-3>
- He, M., Wang, Z., & Tang, H. (1997). Spatial and temporal patterns of acidity and heavy metals in predicting the potential for ecological impact on the Le An river polluted by acid mine drainage. *Science of The Total Environment*, 206(1), 67-77. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00217-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00217-9)
- Herrera, R., Berger, U., von Ehrenstein, O. S., Díaz, I., Huber, S., Moraga Muñoz, D., & Radon, K. (2017). Estimating the causal impact of proximity to gold and copper mines on respiratory diseases in Chilean children: An application of targeted maximum likelihood estimation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 39. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010039>
- IEA (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2023). Agua y minería. <https://aguaymineria.imta.mx/mineria/laboreo>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- Khazini, L., Dehkharghanian, M. E., & Vaezihi, A. (2021). Dispersion and modeling discussion of aerosol air pollution caused during mining and processing of open-cast mines. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03225-1>

- Khalfan, A., Nilsson Lewis, A., Aguilar, C., Lawson, M., Jayoussi, S., Persson, J., Dabi, N., & Acharya, S. (2023). *Climate Equality: A planet for the 99%*. Oxfam International. <https://doi.org/10.21201/2023.000001>
- Kayembe-Kitenge, T., Kasole Lubala, T., Obadia, P. M., Chimusa, P. K., Nawej, C. K., Banza Lubaba Nkulu, C., Devriendt, K., & Nemery, B. (2019). Holoprosencephaly: A case series from an area with high mining-related pollution. *Birth Defects Research*. <https://doi.org/10.1002/bdr2.1583>
- Křibek, B., Nyambe, I., Sracek, O., Mihaljevič, M., & Knésl, I. (2023). Impact of Mining and Ore Processing on Soil, Drainage and Vegetation in the Zambian Copperbelt Mining Districts: A Review. *Minerals*, 13(384). <https://doi.org/10.3390/min13030384>
- National Human Genome Research Institute (NHGRI). 2024. Genetics glossary. Sitio web: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Holoprosencefalia>. Consultado el 04 de diciembre de 2024.
- Mekonnen, A. G., Hordofa, A. G., Kitila, T. T., & Sav, A. (2020). Modifiable risk factors of congenital malformations in bale zone hospitals, Southeast Ethiopia: An unmatched case-control study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 20(129). <https://doi.org/10.1186/s12884-020-2827-0>
- Monjezi, M., Shahriar, K., Dehghani, H., & Samimi Namin, F. (2008). Environmental impact assessment of open pit mining in Iran. *Environmental Geology*, 58, 205–216. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1509-4>
- Mudekereza, S. M., Mudekereza, B., Bahizire, G. M., & Lekuya, H. M. (2021). Alobar holoprosencephaly in mining-related areas of the Eastern region of the Democratic Republic of the Congo: A case series. *Birth Defects Research*. <https://doi.org/10.1002/bdr2.1952>
- Ndilila, W., Callan, A. C., McGregor, L. A., Kalin, R. M., & Hinwood, A. L. (2014). Environmental and toenail metals concentrations in copper mining and non-mining communities in Zambia. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.03.011>
- Norman, M., Hallberg, B., Abrahamsson, T., Björklund, L., Domellöf, M., Farooqi, A., ... & Håkansson, S. (2019). Association between year of birth and 1-year survival among extremely preterm infants in Sweden during 2004–2007 and 2014–2016. *Jama*, 321(12), 1188. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.2021>
- Olivera, B. y Téllez, I. (2025). Pobreza en los municipios mineros de México. Fundación Heinrich Boell-UNAM-Engenera. [Manuscrito en proceso de publicación]
- Piketty, Thomas. (2017). *Capital in the Twenty-First Century*, Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674982918>

- Planet Labs PBC. (2024). *NICFI Satellite Data Program: High-resolution satellite imagery for tropical forest monitoring*.
- Rduch, T., Tsolaki, E., Baz, Y., Leschka, S., Born, D., Kinkel, J., ... & Herrmann, I. (2022). The role of inorganics in preeclampsia assessed by multiscale multimodal characterization of placentae. *Frontiers in Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.857529>
- Rehman, M., Liu, L., Wang, Q. et al. (2019). Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 18003–18016. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05073-6>
- Sanders, A. P., Desrosiers, T. A., Warren, J. L., Herring, A. H., Enright, D., Olshan, A. F., Meyer, R. E., & Fry, R. C. (2014). Association between arsenic, cadmium, manganese, and lead levels in private wells and birth defects prevalence in North Carolina: A semi-ecologic study. *BMC Public Health*, 14(955). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-955>
- Secretaría de Economía. (2024). *Cartografía de concesiones mineras*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2021). *Inventario Homologado Preliminar de Presas de Jales de Semarnat*.
- Secretaría de Salud. (2024). *Subsistema de Información Sobre Nacimiento (SINAC)*.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Frontera Agrícola Serie IV (2019-2021)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2022). *Directorio de la Minería Mexicana*.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2024). *Mineral Commodity Summaries 2024*. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>
- Valdés, J., Reyes, A. E., Navarrete, E., & Canún, S. (2017). Bajo peso al nacer y defectos congénitos en relación con sitios mineros y campos agrícolas en Sonora, México. *Prevalencia 2008-2012. Región y Sociedad*, 29(spe 5). <https://doi.org/10.22198/rys.2017.0.a290>
- Vesković, J., & Onjia, A. (2024). Environmental implications of the soil-to-groundwater migration of heavy metals in mining area hotspots. *Metals*, 14(6), 719. <https://doi.org/10.3390/met14060719>
- Wang, Z., Song, G., & Ding, K. (2020). Study on the ground movement in an openpit mine in the case of combined surface and underground mining. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020(1). <https://doi.org/10.1155/2020/8728653>
- Zota, A. R., Schaidler, L. A., Ettinger, A. S., Wright, R. O., Shine, J. P., & Spengler, J. D. (2011). Metal sources and exposures in the homes of young children living near a mining-impacted Superfund site. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21(5), 495–505. <https://doi.org/10.1038/jes.2011.21>



www.cartocritica.org.mx

Este estudio analiza el impacto de la minería de cobre en México en la salud de los recién nacidos, enfocándose en malformaciones congénitas y problemas neonatales. Basado en el análisis estadístico de datos oficiales de la Secretaría de Salud de más de 76 mil nacimientos entre 2017 y 2023, se encontró mediante regresiones logísticas que la cercanía a minas de cobre está asociada con un aumento significativo en el riesgo de parto prematuro extremo, y con malformaciones en los sistemas osteomuscular y circulatorio.

Los recién nacidos de las comunidades ubicadas a menos de 10 km de las minas de cobre presentan un aumento de 56% en el riesgo de partos prematuros extremos y un incremento de hasta 366% en malformaciones del sistema circulatorio. Además, las malformaciones osteomusculares muestran un aumento del 126% en áreas de exposición media. Estos hallazgos subrayan los riesgos sanitarios asociados a la contaminación por metales pesados liberados en procesos mineros.

El contexto global de creciente demanda de cobre, impulsado por la transición energética, ha intensificado la actividad minera, incrementando sus impactos ambientales y sociales. En México, donde la regulación del sector tiene serias limitaciones, las comunidades cercanas a las minas están particularmente expuestas. Este estudio destaca la urgente necesidad de fortalecer la regulación ambiental minera, prohibir prácticas como la minería a cielo abierto, garantizar la justicia ambiental y priorizar la salud de las poblaciones vulnerables. La transición energética no puede lograrse a costa del bienestar de las comunidades.

