



Organización
Internacional
del Trabajo

Promover
Promoviendo empleos cada vez + verdes

Estudio sobre el potencial para la creación de empleos verdes en un marco de transición justa en México

► Estudio de Sistemas de Mercado para el sector Minería Responsable de Minerales Críticos en México

Informe 6



Organización
Internacional
del Trabajo

Promover
Promoviendo empleos cada vez + verdes

Estudio de Sistemas de Mercado para el sector Minería Responsable de Minerales Críticos en México

Copyright © Organización Internacional del Trabajo 2024

Primera edición 2024



Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Para consultar una copia de la licencia, véase <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>. El usuario podrá reproducir, compartir (copiar y redistribuir), adaptar (mezclar, transformar y desarrollar el contenido de la obra original), conforme a los términos detallados en la licencia. El usuario deberá citar claramente a la OIT como fuente del material e indicar si se han introducido cambios en el contenido original. No está permitido reproducir el emblema, el nombre ni el logotipo de la OIT en traducciones, adaptaciones u otras obras derivadas.

Atribución de la titularidad - El usuario deberá indicar si se han introducido cambios y citar la obra como sigue: [OIT, Informe 6: Estudio de sistema de mercado para el sector Minería responsable de minerales críticos en México, México: Oficina de País de la OIT para México y Cuba, 2024, © OIT.]

Traducciones - En caso de que se traduzca la presente obra, deberá añadirse, además de la atribución de la titularidad, el siguiente descargo de responsabilidad: La presente publicación es una traducción de una obra protegida por derechos de autor de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Esta traducción no ha sido realizada, revisada ni aprobada por la OIT y no debe considerarse una traducción oficial de la OIT. La OIT declina toda responsabilidad en cuanto a su contenido o exactitud. La responsabilidad incumbe exclusivamente al autor o autores de la traducción.

Adaptaciones - En caso de que se adapte la presente obra, deberá añadirse, además de la atribución de la titularidad, el siguiente descargo de responsabilidad: La presente publicación es una adaptación de una obra protegida por derechos de autor de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Esta adaptación no ha sido realizada, revisada ni aprobada por la OIT y no debe considerarse una adaptación oficial de la OIT. La OIT declina toda responsabilidad en cuanto a su contenido o exactitud. La responsabilidad incumbe exclusivamente al autor o autores de la adaptación.

Materiales de terceros - Esta licencia Creative Commons no se aplica a los materiales incluidos en la presente publicación que, aunque no son de la OIT, están protegidos por derechos de autor. Si el material se atribuye a una tercera parte, el usuario que utilice dicho material será el único responsable de obtener las autorizaciones necesarias del titular de los derechos y de responder ante cualquier reclamación por vulneración de los derechos de autor.

Toda controversia derivada de la presente licencia que no pueda ser resuelta de manera amistosa será sometida a arbitraje de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). Las partes quedarán vinculadas por el laudo arbitral resultante de dicho arbitraje, que resolverá con carácter definitivo dicha controversia.

Toda consulta sobre derechos y licencias deberá dirigirse a la Unidad de Publicaciones de la OIT (Derechos de autor y licencias), a rights@ilo.org. Puede obtenerse información sobre las publicaciones y los productos digitales de la OIT en: www.ilo.org/publns.

ISBN 9789220412541 (PDF web)

Transición justa / empleos verdes / diálogo social / tripartismo / igualdad de género y no discriminación / empleo juvenil / México.

Las denominaciones empleadas en las publicaciones y las bases de datos de la OIT, que están en concordancia con la práctica seguida en las Naciones Unidas, y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican juicio alguno por parte de la OIT sobre la condición jurídica de ninguno de los países, zonas o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Las opiniones y puntos de vista expresados en esta publicación incumben solamente a su autor o autores y no reflejan necesariamente las opiniones, puntos de vista o políticas de la OIT.

Las referencias a firmas o a procesos o productos comerciales no implican aprobación alguna por la OIT, y el hecho de que no se mencionen firmas o procesos o productos comerciales no implica desaprobación alguna.

Publicado en México

El estudio fue realizado para la OIT por la consultora Blindspot Business & Human Rights Consulting dirigida por Miguel Macías.

Este estudio fue supervisado por Rodrigo Mogrovejo, Especialista de Empresas Sostenibles, Transición Justa y Formación Profesional de la Oficina de la OIT para América Central, Haití, Panamá y República Dominicana; Noémie Feix, Oficial de Empleo, y Edith Zavala, Coordinadora del Proyecto “Promover: Promoviendo empleos cada vez + verdes”, ambas de la Oficina de País de la OIT para México y Cuba.

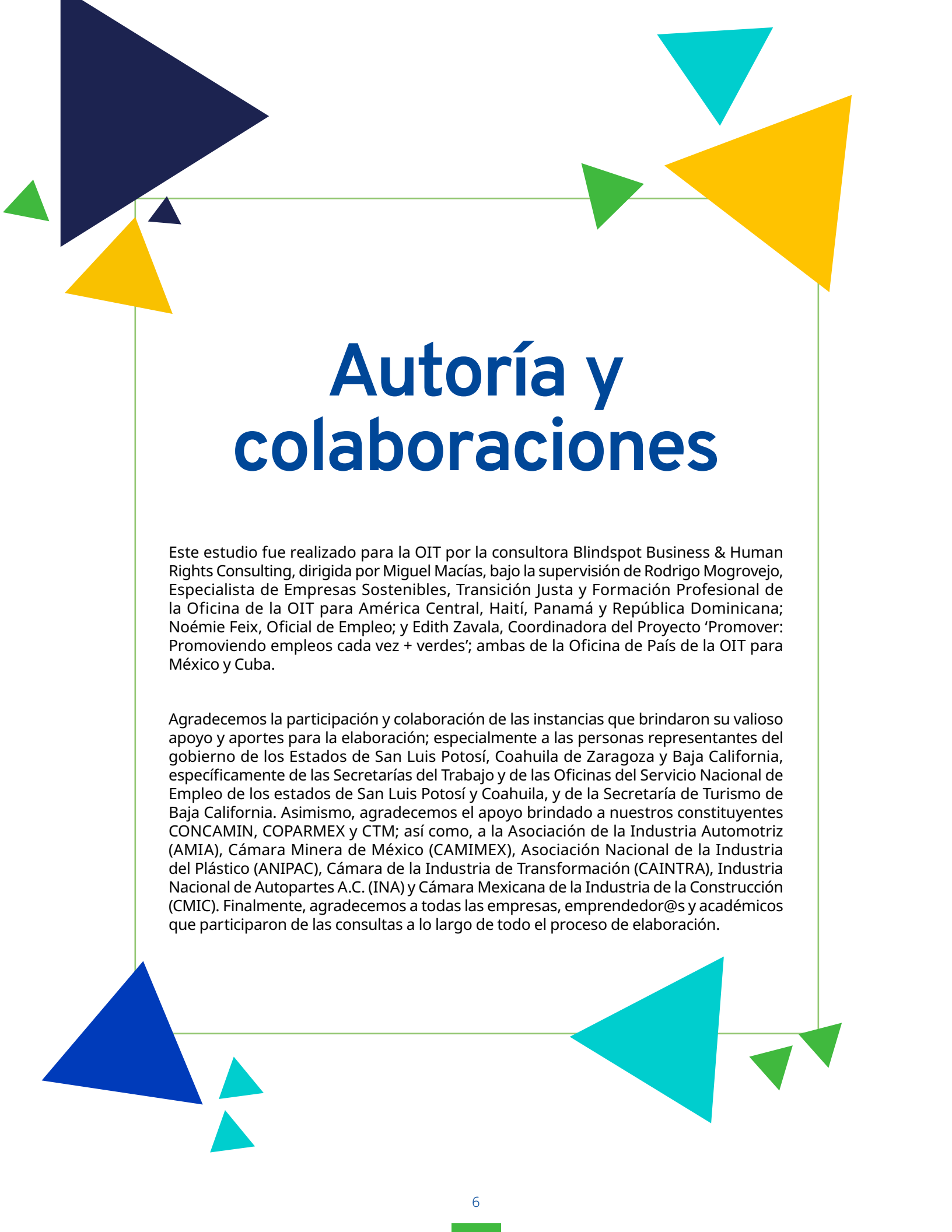
“Informe 6: Estudio de sistema de mercado para el sector Minería responsable de minerales críticos en México”.

Oficina de País de la OIT para México y Cuba, Proyecto RBSA “Promover: Promoviendo empleos cada vez + verdes”, Coordinadora Nacional de Proyectos, Edith Zavala. Primera Edición, 2024.

Diseño editorial: Erika Nohemí Rivera Cortés.



Fotografía: CAMIMEX | Trabajador del sector minero reforestando.



Autoría y colaboraciones

Este estudio fue realizado para la OIT por la consultora Blindspot Business & Human Rights Consulting, dirigida por Miguel Macías, bajo la supervisión de Rodrigo Mogrovejo, Especialista de Empresas Sostenibles, Transición Justa y Formación Profesional de la Oficina de la OIT para América Central, Haití, Panamá y República Dominicana; Noémie Feix, Oficial de Empleo; y Edith Zavala, Coordinadora del Proyecto 'Promover: Promoviendo empleos cada vez + verdes'; ambas de la Oficina de País de la OIT para México y Cuba.

Agradecemos la participación y colaboración de las instancias que brindaron su valioso apoyo y aportes para la elaboración; especialmente a las personas representantes del gobierno de los Estados de San Luis Potosí, Coahuila de Zaragoza y Baja California, específicamente de las Secretarías del Trabajo y de las Oficinas del Servicio Nacional de Empleo de los estados de San Luis Potosí y Coahuila, y de la Secretaría de Turismo de Baja California. Asimismo, agradecemos el apoyo brindado a nuestros constituyentes CONCAMIN, COPARMEX y CTM; así como, a la Asociación de la Industria Automotriz (AMIA), Cámara Minera de México (CAMIMEX), Asociación Nacional de la Industria del Plástico (ANIPAC), Cámara de la Industria de Transformación (CAINTRA), Industria Nacional de Autopartes A.C. (INA) y Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC). Finalmente, agradecemos a todas las empresas, emprendedor@s y académicos que participaron de las consultas a lo largo de todo el proceso de elaboración.

Prólogo

El cambio climático tiene repercusiones de gran alcance para el mundo del trabajo en términos de pérdida de empleos e ingresos, mayores riesgos para la seguridad y la salud, y disminución de la productividad. Su impacto es diferenciado en mujeres y en hombres, mientras que los grupos en situación de vulnerabilidad, exclusión o desventaja probablemente se vean más afectados. Si no se toman las medidas necesarias, sus efectos podrían exacerbar las desigualdades y los déficits de trabajo decente existentes, y convertirse en un nuevo factor que impulse la injusticia social y económica.

Con estas premisas, la OIT ha asumido un rol de liderazgo en México y el mundo para impulsar la acción climática desde el ámbito laboral; a través de acciones centradas en la agenda de trabajo decente y la transición justa hacia economías y sociedades ambientalmente sostenibles para todas y todos. Una transición justa significa promover economías ambientalmente sostenibles de manera inclusiva y con perspectiva de género, creando trabajo decente, reduciendo las desigualdades y no dejando a nadie atrás. Es así como los empleos verdes se han convertido en un emblema para economías y sociedades más sostenibles, capaces de conservar el medio ambiente para las generaciones actuales y futuras, que son más justas e inclusivas para todas las personas y todos los países.

Con esta perspectiva, la Oficina de País de la OIT para México y Cuba afianzó su agenda de trabajo desarrollando en la Ciudad de México, y los estados de Coahuila de Zaragoza y San Luis Potosí, la iniciativa “Promover: Promoviendo empleos cada vez + verdes” que busca reforzar las capacidades del gobierno y los interlocutores sociales para elaborar y aplicar políticas integradas e inclusivas, colocando al empleo como eje para una reactivación económica con

empleos y empresas ambientalmente más sostenibles, bajo un enfoque de género y no discriminación, y en un marco de diálogo social tripartito.

A partir de estas experiencias, en la Ciudad de México, en concierto con el gobierno, las organizaciones sindicales y de empleadores, se elaboraron una serie de propuestas para una recuperación con empleos verdes y empresas ambientalmente sostenibles, en respuesta a los efectos de la COVID-19 y en el marco de la Estrategia y el Programa local de Acción Climática, se integraron cuatro medidas estratégicas y transversales sobre empleos verdes.

En el estado de Coahuila de Zaragoza, se conformó el “Consejo Tripartito para las Relaciones Laborales del estado de Coahuila de Zaragoza” (CTRL-C) como un mecanismo permanente para el diseño e implementación de políticas públicas en materia de trabajo decente en el estado. En el marco de sus acciones, se adoptó una [Estrategia de recuperación del empleo y Plan para el impulso de empleos y emprendimientos verdes para el estado de Coahuila de Zaragoza \(ilo.org\)](#) que prioriza aspectos de igualdad de género y no discriminación; además, se avanzó en el fortalecimiento de capacidades y generación de herramientas, para fortalecer la vinculación laboral hacia empleos verdes e incidir en la eliminación de las barreras de acceso al mercado de trabajo para las mujeres; una de las más importantes, la [“Guía de capacitación para incorporar la perspectiva de género en el Servicio Nacional de Empleo en México | International Labour Organization \(ilo.org\)”](#).

En el estado de San Luis Potosí, se suscribió el “Acuerdo Laboral Potosí: Empleos verdes, Equidad de Género e Inclusión” con el objetivo de establecer una alianza estratégica entre el gobierno del estado, la iniciativa privada y los sindicatos, para promover la

creación de empleos y emprendimientos verdes, garantizar la equidad de género en el mercado laboral y promover la inclusión de grupos minoritarios y personas con discapacidad en el estado; propiciando la instalación del “Consejo Tripartito para el Seguimiento y Evaluación del Acuerdo Laboral Potosí”. También, se actualizó el crédito REGION4BLE, una iniciativa conjunta entre la Secretaría del Trabajo del Estado de San Luis Potosí y el Sistema de Financiamiento para el Desarrollo del Estado de San Luis Potosí (SIFIDE), diseñada para apoyar el crecimiento de empresas que operan de manera sostenible, promoviendo la innovación y el impacto positivo en los ámbitos económico, social y ecológico.

En este estado, se continuó con los procesos para el fortalecimiento de capacidades del gobierno y los interlocutores sociales y otras instancias participantes. En este contexto, se diseñó el programa “EQUIDAD 360” dirigido a incidir en la eliminación de las barreras de acceso al mercado de trabajo para las mujeres, impulsar en los centros de trabajo la adopción de políticas que garanticen derechos y oportunidades laborales para las mujeres y promover programas de empoderamiento económico para las mujeres, y, por ende, contribuir a la igualdad en armonía con el ODS 5.

A estas iniciativas se suma el *Estudio sobre el potencial para la creación de empleos verdes en un marco de transición justa en México. Un análisis con enfoque sectorial y estatal*, al que se agregan estudios de sistemas de mercado para ocho sectores: informes específicos para ocho sectores: Agroecología y Forestería Sostenible, Construcción Sustentable, Electromovilidad, Energía Renovable, Manufactura Sostenible, Minería Responsable de Minerales Críticos, Turismo

Sostenible, Economía Circular y Gestión de Residuos. Algunos datos relevantes de cada informe aducen a:

- **Agroecología y Forestería Sostenible:** la agricultura orgánica puede emplear hasta 12 por ciento más personas que la agricultura convencional (Finley, et al., 2017).
- **Construcción sustentable:** puede llegar a emplear entre cinco y diez por ciento más personal que la construcción convencional, dependiendo el sistema constructivo (OIT, 2021), esto significaría la creación de más de 200 000 puestos de trabajo bajo un escenario conservador donde solo un 30 por ciento de la construcción sea sustentable. Esto sin incluir los potenciales empleos indirectos en industrias asociadas con la producción y comercialización de materiales de construcción sustentables o con menor impacto ambiental.
- **Electromovilidad:** la electrificación del sector impactará el empleo en dos direcciones, la primera con la creación de nuevos puestos de trabajo derivados de la instalación de fábricas dedicadas exclusivamente a la producción de vehículos eléctricos, y la segunda resultado de la transformación de las empresas existentes a la producción de autos eléctricos. En este sentido, bajo un escenario conservador donde apenas el 30 por ciento de los empleos directos del sector estén dedicados a la producción de vehículos eléctricos, el potencial de creación de empleo ascendería a 279 000 empleos¹, esto sin contar los más de 7 000 nuevos puestos² de trabajo que anticipa la operación nuevas plantas de dedicadas a la producción de vehículos eléctricos que se encuentran

¹ Estimaciones realizadas utilizando como base datos de AIMA (2021).

² Actualmente la empresa BMW ha anunciado una inversión para expandir sus operaciones en San Luis Potosí, dedicándolas exclusivamente a la producción de vehículos eléctricos. Este proyecto contempla la creación de aproximadamente 1 000 puestos de trabajo (San Luis). Por otra parte, Tesla también ha anunciado la construcción de una fábrica en Nuevo León, la cual se estima que generará hasta 6 000 empleos directos.

actualmente en construcción (Eric, et al., 2020).

- **Energía Renovable:** el cumplimiento de los objetivos definidos en las NDCs para el periodo 2020-2030 resultarían en la adición de 35 GW de capacidad en energías renovables y en una generación de más de 600 000 puestos de trabajos adicionales, incluyendo empleos directos, indirectos e inducidos (de los cuales generación distribuida solar fotovoltaica contribuye con un 36 por ciento). En el caso de los empleos directos, se estima que el 26 por ciento en la eólica y 46 por ciento fotovoltaica (GGGI, 2020).
- **Manufactura Sostenible:** el sector está experimentando un crecimiento acelerado debido a la reubicación de las cadenas de valor desde Asia hasta Norteamérica (fenómeno conocido como *nearshoring*), con proyecciones de crecimiento anual del 10.3 por ciento hasta 2025. Este crecimiento podría generar hasta 1,17 millones de empleos adicionales en los próximos cinco años, con efectos positivos en sectores relacionados como comercio y servicios (Deloitte, 2023).
- **Minería responsable de minerales críticos:** el sector minero presenta un alto potencial para la generación de empleo. Al cierre de 2022 el sector registró más de 417 000 puestos de empleo directos, lo que representó un aumento del 2,8 por ciento con respecto al año anterior. Además, las personas trabajadoras en el sector reciben salarios 33 por ciento superiores a los del promedio nacional (CAMIMEX, 2023).

- **Economía Circular y Gestión de Residuos:** se estima que la adopción de prácticas de economía circular podría incrementar hasta en 0,2 por ciento el empleo nacional (Chateau & Mavroeidi, 2020) y en un escenario conservador en el que se lograra el aprovechamiento³ de sólo el 25 por ciento de los RSU permitiría crear más de 114 000 puestos de trabajo.
- **Turismo Sostenible:** Se estima que el país experimentará un crecimiento promedio anual del 3.2 por ciento en su actividad turística, superando el dos por ciento proyectado para el crecimiento económico en general. Lo cual se traduciría en la creación de más de 2,7 millones de puestos de trabajo en el país entre el 2022 y el 2032 (WTTC, 2024). Bajo un escenario conservador donde apenas un 20 por ciento del crecimiento derivara de la promoción del turismo sostenible, esto significaría la creación de más de 540,000 puestos nuevos de trabajo.

Nuestra aspiración es que estos estudios sean un marco de referencia para el gobierno, organizaciones de personas trabajadoras y de empleadoras, cooperación internacional, organizaciones de la sociedad civil, academia y otros actores clave del mundo del trabajo en México para la identificación de puntos de entrada de alto potencial para promover políticas públicas e intervenciones de transición justa y empleos verdes en línea con las necesidades, prioridades y procesos de política específicos. Así, se avanza en la acción climática, el trabajo decente, la agenda de transición justa y la promoción de los empleos verdes en el país.



Pedro Américo Furtado de Oliveira

Director Oficina de País de la OIT para México y Cuba

³ En el caso de los residuos orgánicos vía compostaje y en el de los inorgánicos aprovechables el reciclaje. El cálculo es propio con base en Ribeiro-Broomhead & Tangri (2021).

Contenidos

Índice de contenidos	10
Siglas y acrónimos	12
Resumen Ejecutivo	13
Introducción	16
Estructura del sector	19
Visión general del mercado en México	21
Sistema de Mercado	24
Cadena de valor	25
Prospección	25
Exploración	25
Desarrollo	26
Explotación	27
Comercialización	28
Funciones de soporte	29
Capacidades y competencias	29
Estándares y certificaciones	30
Investigación y desarrollo (I+D)	32
Reglas y regulaciones	32
Potencial de generación de empleo verde	35
Ocupaciones demandadas en el sector	38
Análisis de limitaciones de mercado y causas subyacentes	40
Recomendaciones	41
Referencias	44



Fotografía: Envato | Mina de carbón.

Siglas y acrónimos

ANP	Áreas Naturales Protegidas
APV	Agricultura Protegida Vertical
CAC	Comunidades de Aprendizaje Campesino
CIUO	Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CEEX	Registro de Empresas de Comercio Exterior
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FONAGA	Fondo Nacional de Garantías de los Sectores Agropecuario, Forestal, Pesquero y Rural
FPB	Fondo Patrimonial de Biodiversidad
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LDRS	Ley de Desarrollo Rural y Sustentable
MLPSA-FC	Mecanismos Locales de PSA a través de Fondos Concurrentes
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional
OCO	Organismo de Certificación Orgánica
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PIB	Producto Interno Bruto
PROEM	Programa de Financiamiento a la Mediana Empresa Agroalimentaria y Rural
PSA	Pago por Servicios Ambientales
PyMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SENASICA	Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TLC	Tratados de Libre Comercio
WRI	Instituto de Recursos Mundiales

Resumen Ejecutivo



El sector minero en México juega un papel crucial en la economía nacional, representando el 4,2 por ciento del PIB y generando más de 566 000 empleos directos (INEGI, 2023). El país se posiciona entre los diez principales productores mundiales de 17 minerales (SEMARNAT, 2024), destacando como el mayor productor de plata, el segundo en fluorita y el sexto en zinc.

La industria minera ha mostrado un crecimiento sostenido, con un aumento del 2,8 por ciento en el empleo directo en 2022 respecto al año anterior (CAMIMEX, 2023). Además, los salarios en el sector son un 33 por ciento superiores al promedio nacional (CAMIMEX, 2023), lo que contribuye significativamente al desarrollo económico de las regiones mineras.

Su inversión es considerable, con proyecciones de hasta 11 000 millones de dólares entre 2024 y 2025, lo que podría generar 300 000 empleos adicionales, directos e indirectos (Tapia, 2023). La minería de minerales críticos como litio, cobre y fluorita, es particularmente relevante para la transición energética global, posicionando a México como un actor clave en la cadena de suministro de tecnologías verdes.

La minería, si bien es fundamental para el desarrollo económico y la transición energética, enfrenta importantes desafíos ambientales. El sector es responsable del 1,7 por ciento de las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) en México, equivalente a 12 007 Gg en CO₂eq (INECC, 2021). Los impactos ambientales incluyen la degradación y erosión del suelo, contaminación del agua, emisiones de

GEI y polvo que afectan la calidad del aire y la salud respiratoria para las personas. La generación de grandes volúmenes de residuos también representa un riesgo significativo para el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente.

Sin embargo, el sector está avanzando hacia prácticas más sostenibles, implementando tecnologías y procesos que buscan minimizar estos impactos. La adopción de estándares internacionales como "Hacia una Minería Sostenible" (TSM) y el compromiso con la responsabilidad social empresarial demuestran los esfuerzos del sector por mejorar su desempeño ambiental y social. Esta transición es crucial para equilibrar los beneficios económicos con la protección del medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales.

La cadena de valor del sector minero tiene impactos significativos en el empleo a lo largo de sus diferentes etapas. En la fase de prospección se generan empleos especializados para profesionales en geología y técnicos, aunque en menor escala. La etapa de exploración intensifica la demanda laboral, requiriendo ingenieros, geólogos y especialistas ambientales para estudios detallados y evaluaciones de impacto. El desarrollo de la mina es particularmente intensivo en mano de obra, tanto calificada como no calificada, para la construcción de infraestructura y preparación del sitio.

Por otro lado, la fase de explotación es la que genera mayor empleo permanente, requiriendo entre cuatro a seis veces más personal que las etapas anteriores. Esto incluye operadores, técnicos y profesionales en diversas áreas. Además, esta etapa tiene

un efecto multiplicador en la economía local, estimulando la creación de empleos indirectos en servicios y comercio. La etapa de cierre de mina también genera empleo temporal para actividades de rehabilitación y monitoreo ambiental. En conjunto, la cadena de valor minera ofrece oportunidades de empleo diversas y de largo plazo, contribuyendo significativamente al desarrollo económico de las regiones mineras.

Las funciones de soporte en el sector minero mexicano muestran un desarrollo significativo, especialmente en áreas como capacitación, certificación e investigación. El Fideicomiso de Fomento Minero (FIFOMI) y la Cámara Minera de México (CAMIMEX) ofrecen programas de formación extensivos, abarcando desde aspectos técnicos hasta seguridad y normatividad. En 2022, se registraron 3,36 millones de horas de capacitación en seguridad, con un incremento notable en certificaciones. La colaboración entre el sector privado y académico ha resultado en la creación de estándares de competencias y programas educativos especializados, como el Diplomado en Cadena de Valor del Litio.

En cuanto a certificaciones, destacan el Certificado de Industria Limpia y el de Empresa Socialmente Responsable (ESR). Estas promueven prácticas ambientales y socialmente responsables. La investigación y desarrollo también recibe atención, con iniciativas como el Centro Internacional de Investigación sobre Litio y fideicomisos para becas en innovación. Estas funciones de soporte fortalecen la competitividad del sector y su capacidad para adaptarse a los desafíos de la transición energética y la minería responsable.

El potencial de generación de empleo verde en el sector minero mexicano es considerable, impulsado por la creciente demanda de minerales críticos para la transición energética. Se proyecta que si la inversión minera nacional alcanza los 11 000 millones de dólares entre 2024 y 2025, se podrían generar 300 000 empleos directos e

indirectos (Tapia, 2023). La transición hacia prácticas mineras más sostenibles está creando nuevas oportunidades laborales en áreas como gestión ambiental, eficiencia energética y tecnologías limpias.

Se anticipa un cambio significativo en las habilidades requeridas, con una mayor demanda de profesionales capaces de integrar conocimientos en optimización de recursos, análisis de datos y toma de decisiones con visión transversal. Además, se requieren especialidades orientadas a la disminución de emisiones, implementación de fuentes energéticas renovables y gestión de residuos. Este cambio en la demanda de habilidades implica la necesidad de programas de recualificación y formación continua para adaptar la fuerza laboral existente a las nuevas exigencias del sector.

Los perfiles más demandados en el sector minero responsable incluyen profesionales de la ingeniería de minas, ingeniería ambiental, especialistas en relaciones institucionales, y profesionales de la ingeniería química. Los ingenieros de minas deben poseer sólidos conocimientos en ciencias e ingeniería para gestionar proyectos mineros de manera sostenible, con habilidades en análisis, interpretación y evaluación para la toma de decisiones en operaciones mineras.

Los ingenieros ambientales son cruciales para impulsar la transición hacia una economía verde, requiriendo una visión integral de la problemática minera y la aplicación de procesos tecnológicos sostenibles. Los especialistas en relaciones institucionales necesitan formación en disciplinas ambientales o sociales, con habilidades en gestión de conflictos socioambientales y conocimientos en regulación ambiental. Los ingenieros químicos son esenciales para diseñar y gestionar procedimientos que transformen la materia prima en productos de mayor valor agregado, con énfasis en la seguridad y el cumplimiento normativo ambiental. Todos estos perfiles requieren habilidades transversales como análisis de

datos, gestión de riesgos y capacidad de innovación para abordar los desafíos de la minería responsable.

Las principales limitaciones de mercado en el sector minero de minerales críticos en México incluyen la incertidumbre en el mercado del litio, la falta de claridad en el entorno regulatorio y la escasez de mano de obra capacitada. La exploración del litio se encuentra en fase inicial, con baja rentabilidad debido a los altos costos de extracción y procesamiento. Además, la falta de mecanismos institucionales para articular la participación privada en este mercado genera incertidumbre, y las modificaciones recientes en la ley minera han alterado las condiciones del mercado, creando inseguridad para las inversiones privadas.

Además, existe un desconocimiento sobre los potenciales impactos en la demanda de habilidades resultantes del incremento en la extracción de minerales esenciales. Se observa un desinterés de los trabajadores jóvenes por integrarse a empleos mineros en zonas remotas, así como escasez de programas formativos en minería responsable. Las ocupaciones con mayor demanda proyectada tienden a ser escasas, lo que dificulta la obtención de personal calificado para los proyectos en desarrollo.

Para abordar estas limitaciones y promover el desarrollo sostenible del sector se

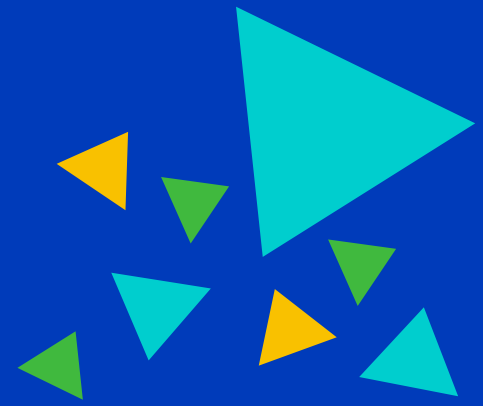
recomiendan varias acciones clave. Es crucial fortalecer el desarrollo de habilidades en minería responsable, acelerando la creación de normas de competencias y ampliando la oferta de capacitación técnica especializada; así como fortalecer y ampliar programas de formación técnica dual a nivel nacional y desarrollar iniciativas de capacitación para profesionales con experiencia en otros minerales.

Se sugiere crear espacios de diálogo entre la academia, gobiernos y el sector empleador para revisar la pertinencia de los planes de estudio y transversalizar elementos de manufactura sustentable. Para mejorar el marco regulatorio, se recomienda crear espacios de diálogo entre los distintos actores de la cadena para abordar desafíos y oportunidades en el desarrollo de regulaciones, incluyendo mecanismos de cooperación público-privada.

Además, es fundamental acompañar a Litio MX en el desarrollo de estudios prospectivos de demanda de mano de obra y habilidades para la cadena de valor del litio, y facilitar el diálogo con otros organismos paraestatales para desarrollar una estrategia conjunta de transición justa.

Estas recomendaciones buscan fortalecer la competitividad del sector mientras se promueve una minería responsable y sostenible.

Introducción



México juega un rol crítico en la transición ecológica y combate al cambio climático. Su territorio alberga entre el diez y el doce por ciento de la biodiversidad mundial (CONABIO, 2017) y 226 Áreas Naturales Protegidas (ANP), que suman más de 93 millones de hectáreas (CONANP, 2024). A su vez, México es responsable de graves externalidades ambientales, el país ocupa el 12° lugar en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por su parte, la minería (con excepción de petróleo y gas) es responsable de la emisión de 12 007 Gg de CO₂eq, es decir, 1,7 por ciento del total de emisiones netas de GEI nacionales (INECC, 2021).

Los efectos globales del cambio climático son una realidad y tienen el potencial de afectar seriamente la productividad alimentaria, los sistemas hídricos, la biodiversidad, la salud de las personas y el desarrollo económico. En este sentido, México es también uno de los países más vulnerables en la región a sufrir los efectos del cambio climático, pues aproximadamente 20 por ciento de su territorio se encuentra a menos de 100 metros del nivel del mar (INECC, 2017) y el 40 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional está vinculado con actividades altamente contaminante⁴ (INEGI, 2023).

En este contexto, la búsqueda de soluciones para reducir el impacto de las actividades económicas o crear nuevos modelos de negocios sostenibles no solo se presenta como un imperativo ambiental, sino como

una estrategia vital para salvaguardar la economía y los medios de vida de la población.

Se estima que el desarrollo de acciones de mitigación ambiental y adaptación a los efectos del cambio climático tenga consecuencias positivas en la economía y el empleo. La transición hacia una economía más verde repercutirá en el empleo de cuatro maneras:

1. Se crearán nuevos puestos de trabajo en sectores verdes emergentes, como las energías renovables, donde la demanda de bienes y servicios se está expandiendo.
2. Se eliminarán determinados puestos de trabajo sin sustitución directa, por ejemplo, prohibiendo o desalentando el uso de actividades económicas altamente contaminantes.
3. Se reemplazarán algunos puestos de trabajo, como resultado de la transformación industrial.
4. Se transformarán y redefinirán la mayoría de los puestos de trabajo actuales, en función de los nuevos requisitos de perfil y métodos de trabajo.

Solo en América Latina y el Caribe, la descarbonización de las actividades económicas tiene el potencial de generar hasta 15 millones de nuevos empleos verdes netos para 2030 (OIT, 2020).

⁴Industrias Manufactureras (21,1 por ciento), Construcción (8,5 por ciento), agricultura, crianza y explotación de animales (4,4 por ciento), minería (4,2 por ciento) y Energía (1,8 por ciento).

¿Qué son los empleos verdes?

Los empleos verdes son por definición empleos decentes que contribuyen a preservar y restaurar el medio ambiente. A nivel empresarial pueden producir bienes o prestar servicios que beneficien al medio ambiente. Como ejemplo, los edificios verdes o el transporte limpio. También pueden considerarse como empleos verdes aquellos que contribuyen a procesos de producción más respetuosos con el medio ambiente en las empresas. Por ejemplo, la reducción el consumo de agua o el reciclaje.

Estos cambios en el mercado laboral deben ser gestionados con precaución, asegurando una transición justa. Esto implica, entre otros aspectos, la implementación de procesos de recualificación y reconversión laboral, así como la facilitación de un extenso diálogo social que aborde los impactos laborales derivados de la descarbonización. Estos esfuerzos tienen como objetivo lograr empleo digno para todas las personas y al mismo tiempo, erradicar la pobreza mediante un crecimiento económico inclusivo⁵. Este tipo de crecimiento busca satisfacer las necesidades de la población mundial y, simultáneamente, preservar el medio ambiente y los recursos naturales.

Bajo esta coyuntura, en el año 2015 la Organización Internacional del Trabajo (OIT) publicó las Directrices para una transición justa hacia economías y sociedades ambientalmente sostenibles para todos. Esta guía adoptada de manera tripartita por gobiernos, organizaciones de trabajadores y de empleadores, proporciona una orientación práctica sobre cómo formular, aplicar y supervisar un marco normativo de transición justa de conformidad con las circunstancias y prioridades nacionales.

Inspirada en estas directrices, la OIT desarrolló la metodología de Evaluación Situacional Rápida (RSA por sus siglas en inglés), que tiene por objetivo el identificar puntos de entrada de alto potencial para

promover políticas e intervenciones de transición justa a nivel nacional, en línea con las necesidades, prioridades y procesos de política específicos a nivel de los países. Resultado de este estudio se priorizaron aquellas actividades económicas que muestran un mayor potencial para impulsar los empleos verdes en México, siendo la minería responsable de minerales críticos uno de ellos.

Este documento hace parte de una serie de estudios que complementan la Evaluación Situacional Rápida de México y profundizan en el análisis de ocho sectores priorizados vinculados con las acciones y compromisos de mitigación y adaptación asumidos por el Gobierno de México en el marco de sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC).

Este estudio fue realizado de acuerdo con la metodología de Desarrollo de Cadenas de Valor para el Trabajo Decente, elaborada por el departamento de Empresas de la OIT y tiene como objetivos:

- Analizar la estructura básica del sector: Oferta, demanda, tendencias y motivaciones de consumo.
- Identificar la estructura de la cadena de valor: Actores involucrados, mecanismos de operación, fuentes de financiamiento y entorno regulatorio.

⁵ Es importante mencionar que la creación de empleos verdes debe acompañarse de un esfuerzo extensivo en incorporar la perspectiva de género y garantizar el acceso igualitario a oportunidades de formación y empleo ya que se calcula que un 80 por ciento de los nuevos puestos de trabajo creados gracias a la reducción de las emisiones de carbono tienen lugar en los sectores tradicionalmente dominados por hombres (IABD - OIT, 2020).

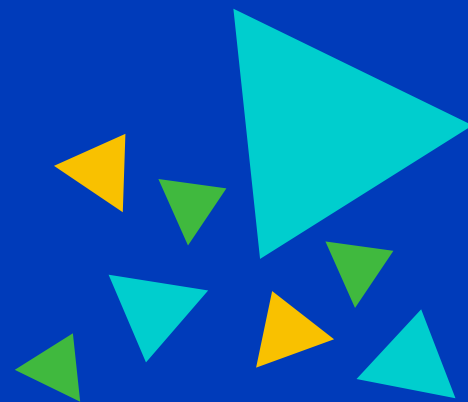
- Entender las condiciones del mercado de trabajo: Oferta y demanda laboral, potencial de generación de empleo, disponibilidad de mano de obra calificada, oferta de programas de capacitación, condiciones laborales y equidad de género.
- Identificar ineficiencias de mercado y cuellos de botella en el funcionamiento de cada sector y actividad, así como sus causas subyacentes.
- Contar con un listado de recomendaciones tanto para el sector público como para el privado y los gremios de trabajadores, de cara a una subsecuente intervención.

La estructura del Informe es la siguiente. Después de esta introducción, se ofrece

una visión global del sector, para luego profundizar sobre su situación en México. Posteriormente, se describen las dinámicas laborales del mercado, haciendo énfasis en las ocupaciones de mayor impacto e identificando aquellas donde se anticipa un mayor incremento en la demanda, derivado de la descarbonización. Luego, se describen detalladamente las actividades que comprenden la cadena de valor y sus impactos ambientales y laborales; así como las reglas, regulaciones y funciones de soporte⁶ que interactúan en la cadena de valor. A partir de este análisis se identifican los cuellos de botella y causas subyacentes que limitan el desarrollo del mercado. Finalmente, se plantean recomendaciones para impulsar la transición justa y los empleos verdes en el sector en México.

⁶Entendemos como funciones de soporte a actividades específicas del contexto y del sector que fundamentan, apoyan y moldean la calidad de las transacciones, como la información, la tecnología, la infraestructura, las finanzas y el acceso a los mercados.

Estructura del sector



La producción mundial de energía es el mayor emisor de CO₂ y representa más del 60 por ciento de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente por el uso de combustibles fósiles (World Bank, 2020). Esta tendencia podría incrementarse en un 25 por ciento para el 2040 (Delgado & Panelles, 2017), lo que hace prioritaria la transición de la matriz energética, priorizando las energías limpias y renovables (Wiatros-Motyka, 2023).

La transición energética enfrenta varios retos significativos, particularmente robustecer la infraestructura en materia de generación, transmisión y almacenamiento.

En lo que respecta a la generación, es fundamental diversificar las fuentes de energía, incrementando la capacidad instalada de energías renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, al tiempo que se mejora la eficiencia de las plantas existentes y se fomenta la inversión en tecnologías emergentes que permitan una producción más limpia y eficiente. En cuanto a la transmisión, es crucial modernizar y expandir las redes eléctricas para manejar la variabilidad y la descentralización de la generación renovable, incorporando sistemas de transmisión inteligentes que puedan gestionar de manera eficiente la distribución de la energía, reducir las pérdidas y aumentar la resiliencia de la red frente a fluctuaciones y desastres naturales.

Finalmente, en lo que respecta al almacenamiento, es importante asegurar un suministro energético fiable y continuo, lo que requiere desarrollar y desplegar tecnologías avanzadas de almacenamiento de energía. Esto debido a que algunas de las fuentes de energías renovables más populares, como la solar y la eólica, no

garantizan un flujo constante de energía debido a su naturaleza intermitente. Además, la electrificación de los sistemas de transporte también demandará el desarrollo de tecnologías de almacenamiento que viabilicen los traslados largos.

Bajo esta coyuntura, la minería cobra un rol protagónico como actividad habilitadora para la transición energética por varias razones. El desarrollo de tecnologías para la generación, transmisión y almacenamiento de energías requiere una gran cantidad y variedad de materiales, entre los que destacan los conocidos como minerales críticos.



Fotografía: CAMIMEX | Trabajadores del sector minero.



¿Qué son los minerales críticos?

Aquellos minerales esenciales para el desarrollo de infraestructura tecnológica con bajas emisiones de carbono, fundamentales para impulsar la transición energética (CEPAL, 2023).

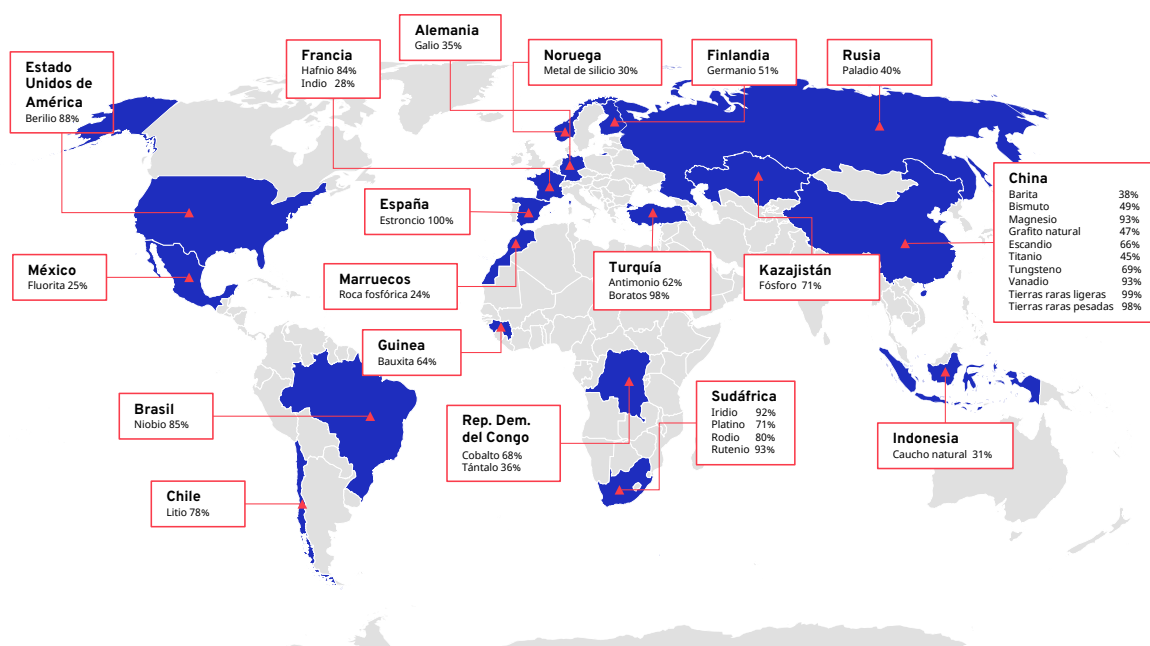
Por ejemplo, las baterías, utilizadas en vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía, dependen de materiales como litio, cobalto y níquel (Olivera, Tornel, & Azamar, 2022). Por su parte, la infraestructura necesaria para la generación de energía renovable, como las turbinas eólicas y los paneles solares, requiere grandes cantidades de metales como el cobre, el aluminio y las tierras raras (EITI, 2022).

Los minerales críticos también son esenciales en la construcción de plantas nucleares y redes eléctricas (EITI, 2022) así como en el desarrollo de infraestructura para otras energías limpias como la geotérmica, el hidrógeno verde y la hidroeléctrica (Jameel, 2022).

En los últimos cinco años el mercado de los minerales críticos se ha duplicado, alcanzando en el 2022 los 320 millones de dólares de Estados Unidos (Deheza, 2023) y se estima que para el 2024 la demanda crezca en un 900 por ciento, solo para satisfacer los requerimientos de infraestructura renovable (EITI, 2022), lo que pone una presión considerable sobre la actividad minera.

Las reservas de minerales críticos están distribuidas globalmente. Aunque no se consideran escasas aún, su extracción representa algunos desafíos como su alta concentración en áreas geográficas específicas y la capacidad de refinamiento, limitada a muy pocos países. Además, los países en desarrollo poseen una gran cantidad de yacimientos, pero tienen un nivel de producción de muy bajo nivel (Barrero, 2023).

► Ilustración 1. Principales depósitos de minerales críticos para la transición energética v electromovilidad



Fuente: The Transformation of the Global Automotive Industry (Boewe & Schulten, 2023).

En la actualidad, la minería de minerales se enfrenta a tres retos principales:

- **Disponibilidad:** Aunque se han identificado yacimientos, estos son aún limitados, lo que ha impulsado el aumento de actividades de exploración y aprovechamiento.
- **Viabilidad:** La explotación de algunos yacimientos no es económicamente viable debido a los altos costos de procesamiento y las condiciones del mineral en el ambiente. Esto a su vez implica investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras para la explotación y procesamiento que permitan mantener un costo razonable de los minerales (Siroit, 2024).

- **Sostenibilidad:** El sector genera importantes externalidades ambientales, incluyendo degradación y erosión del suelo, contaminación de agua y emisión de GEI y polvo, que afectan la calidad del aire y la salud respiratoria de las personas. Adicionalmente, es responsable de la generación de grandes volúmenes de residuos que deben ser gestionados de manera segura, para evitar la contaminación del suelo y el agua (Dufey, 2020).

Debido a la naturaleza intensiva en recursos y el impacto ambiental inherente a la extracción de minerales, la minería no puede considerarse una actividad sostenible en su totalidad. Sin embargo, sí es posible el desarrollo de prácticas de minería responsable.

¿Qué es la minería responsable?



La minería responsable es aquella que integra buenas prácticas para minimizar el impacto ambiental, considerando los aspectos económicos, ambientales y sociales (Martínez N., 2021).

Algunos ejemplos son rehabilitar tierras, implementar procesos adecuados para la gestión de residuos, reducir la generación de GEI o disminuir el uso de agua. También destacan garantizar el respeto a los derechos de las comunidades locales, asegurar condiciones de trabajo seguras y justas, y fomentar la transparencia y la rendición de cuentas en todas las etapas del proceso minero (Dufey, Jara, Sanhueza, Urzúa, & Zamorano, 2023).

Visión general del mercado en México

El sector minero es responsable del 4,2 por ciento del PIB nacional y emplea cerca de 566 000 personas (INEGI, 2023). México es uno de los países con mayor abundancia y diversidad de recursos minerales, colocándose entre los diez principales productores mundiales de 17 minerales y siendo el sexto país de América Latina con mayor inversión en este sector (SEMARNAT, 2024). Es reconocido como mayor productor de plata, el segundo en fluorita, el sexto en zinc y el décimo en cobre.

Hasta el 2019 se habían otorgado un total de 65 534 concesiones mineras, de las

cuales entre 24 000 y 25 000 aún están vigentes (Colegio Mexiquense, A.C., 2022). En México existen 1 065 proyectos relacionados con la minería de minerales esenciales, distribuidos en 26 estados. De estos proyectos, más del 50 por ciento se encuentra en la fase de exploración, cuatro por ciento se encuentra en desarrollo y siete por ciento en la etapa de explotación (Olivera, Tornel, & Azamar, 2022).

En el país existen operaciones de minería de diversos minerales esenciales como el hierro, el bario, el molibdeno, el boro, el manganeso, el plomo, las tierras raras, el titanio, el telurio y el zinc (Olivera, Tornel, & Azamar, 2022). Sin embargo, los más

importantes son el litio, el cobre y la fluorita, por su volumen de producción e impacto en la transición energética.

Litio

México posee reservas de litio que ascienden a 1,7 millones de toneladas, representando aproximadamente el 1,9 por ciento de los recursos mundiales y situándose como el noveno país con mayores reservas en el mundo y el tercero en América Latina (CEPAL, 2023).

Sin embargo, los yacimientos ubicados en territorio nacional se encuentran en fase de exploración (SEMARNAT & Universidad Autónoma Metropolitana, 2022) y aún no se han identificado yacimientos económicamente aprovechables (CANIMEX, 2023), principalmente debido a que en el país este mineral se encuentra en sedimentos o rocas duras, cuyo aprovechamiento es menos rentable y más intensivo en uso de energía, comparativamente con yacimientos encontrados en Asia o América del sur, donde puede encontrarse de manera abundante en salmueras (Bastida, et al., 2023).

A pesar de que las reservas nacionales son pequeñas y su extracción costosa, comparativamente con los países del triángulo sur de América Latina⁷, la cercanía con Estados Unidos de América, el desarrollo tecnológico acelerado en el sector y el incremento pronosticado de la demanda de este mineral⁸ hacen suponer un incremento en la rentabilidad en los procesos de extracción, procesamiento y por tanto un alto potencial.

Este mineral presenta diversas aplicaciones, siendo su principal⁹ la fabricación de baterías. Además, el litio presenta un significativo

potencial para ser integrado con el sistema de almacenamiento de energías renovables debido a su alta capacidad de acumulación energética (García K., 2022).

El año 2023 se promulgó el decreto de la Nacionalización del Litio en México, que establece este mineral como de utilidad pública, lo que implica que su exploración, explotación y aprovechamiento son responsabilidades exclusivas del Estado mexicano (Secretaría de Gobernación, 2023) y por tanto la concesión de licencias, contratos, permisos o autorizaciones en la materia quedan suspendidos (con excepción de las concesiones otorgadas previo a la promulgación de dicho decreto). En este sentido, también se creó un organismo público descentralizado llamado Litio para México (o Litio-MX) cuyo objetivo es la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento del mineral; así como la administración y control de las cadenas de valor económico asociadas.

Aunque existe apertura por parte del estado para la inversión privada, aún no se ha señalado de qué forma se articularía la intervención de la iniciativa privada en el sector.

Fluorita

México es el segundo país a nivel global en la producción de fluorita, superando el millón de toneladas anuales (CANIMEX, 2023) y con aproximadamente el 25 por ciento de las reservas mundiales de este mineral localizadas en el país (Boewe & Schulten, 2023). Los tres estados con mayor volumen de producción de este mineral son San Luis Potosí, con una producción de 80 721 toneladas (equivalente al 18 por ciento de la producción global), seguido de

⁷ Argentina, Chile y Bolivia consolidan el 56,3 por ciento de los recursos de litio globales.

⁸ Bajo un escenario de cumplimiento con los compromisos ambientales asumidos por la comunidad internacional, se estima que la demanda de litio se incremente en más de 200 por ciento entre el año 2022 y 2030 (IEA, 2023).

⁹ Ello es reflejado en el 56 por ciento de su utilización para ese fin en específico, seguido por la industria de la cerámica y vidrio con un 23 por ciento, grasas y lubricantes con un seis por ciento, producción de polímeros con un cuatro por ciento, derivados de la fundición del mineral con un tres por ciento, sistema de aire acondicionado y humidificación con un dos por ciento, y otros usos con un seis por ciento (Dirección General de Desarrollo Minero, 2021).

Coahuila de Zaragoza con 2 507 toneladas y Durango con 32 toneladas (INEGI, 2023).

El 45 por ciento de la producción de fluorita es destinado al mercado internacional (DGDM, 2021) siendo Estados Unidos de América el principal consumidor, dependiendo de México en más del 60 por ciento (Secretaría de Economía, 2022).

El proceso de minería de fluorita se basa en el método de tumba por subniveles, una técnica de minería subterránea que implica la extracción secuencial de mineral en múltiples niveles horizontales dentro de una mina. En este método, se excava una serie de subniveles en la veta mineral para extraerlo de cada subnivel de manera progresiva hacia abajo. A medida que se extrae el mineral de un subnivel, se deja un espacio vacío que eventualmente se llena con desechos de roca o material estéril. Esta técnica tiene un impacto ambiental bajo, comparativamente con otras técnicas como la minería de cielo abierto (DGDM, 2021).

La fluorita es esencial en la fabricación de celdas solares, mejorando la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Además, recientes investigaciones han mostrado que los compuestos de fluoruro derivados de la fluorita permiten mejorar el desempeño de las baterías y otras tecnologías de almacenamiento de energía avanzadas (Roncero, 2023), lo que anticipa un incremento en su demanda.

Cobre

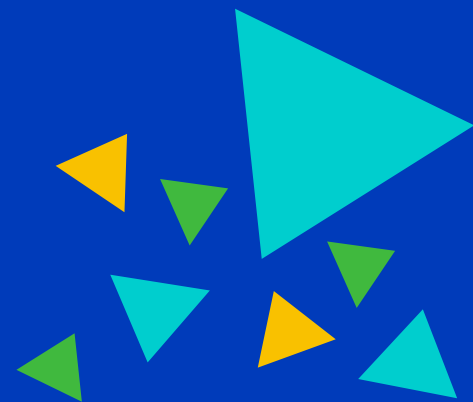
El cobre es un mineral metálico conocido por su alta conductividad térmica y eléctrica,

así como por su maleabilidad y ductilidad (Requejo-Roque, 2019). Se encuentra en la naturaleza en forma de cobre sulfurado u oxidado, dependiendo del tipo de yacimiento y su extracción puede llevarse a cabo mediante la pirometalurgia o fundición y la hidrometalurgia o lixiviación (Ayala, Gallardo, & Vásquez, 2020). En términos de producción, México ocupa el noveno lugar a nivel mundial, con una producción anual promedio superior a las 750 000 toneladas métricas (CAMIMEX, 2023).

El cobre es el segundo mineral más relevante en ingresos mineros al país, representando el 27,2 por ciento (486 076 toneladas) de la producción minero-metalúrgica (SGM, 2023). Los tres estados con mayor volumen de producción del cobre son Sonora (42 805 toneladas), Zacatecas (8 290 toneladas) y San Luis Potosí (2 635 toneladas) (INEGI, 2023).

El cobre tiene una amplia variedad de aplicaciones, siendo el principal mineral en la fabricación de líneas y cables de transmisión de baja tensión y subterráneos (Deetman, de Boer, Van Engelenburg, van der Voet, & van Vuuren, 2021), lo que lo hace crítico en el desarrollo de ecotecnologías. Por ejemplo, un panel fotovoltaico requiere de uno por ciento de cobre para el cableado eléctrico, un aerogenerador necesita alrededor de 4,7 toneladas y los vehículos eléctricos requieren un estimado de 53,2 kg de cobre (CAMIMEX, 2023). Además, desempeña un papel importante en el despliegue de tecnologías de hidrógeno verde (IEA, 2023).

Sistema de Mercado

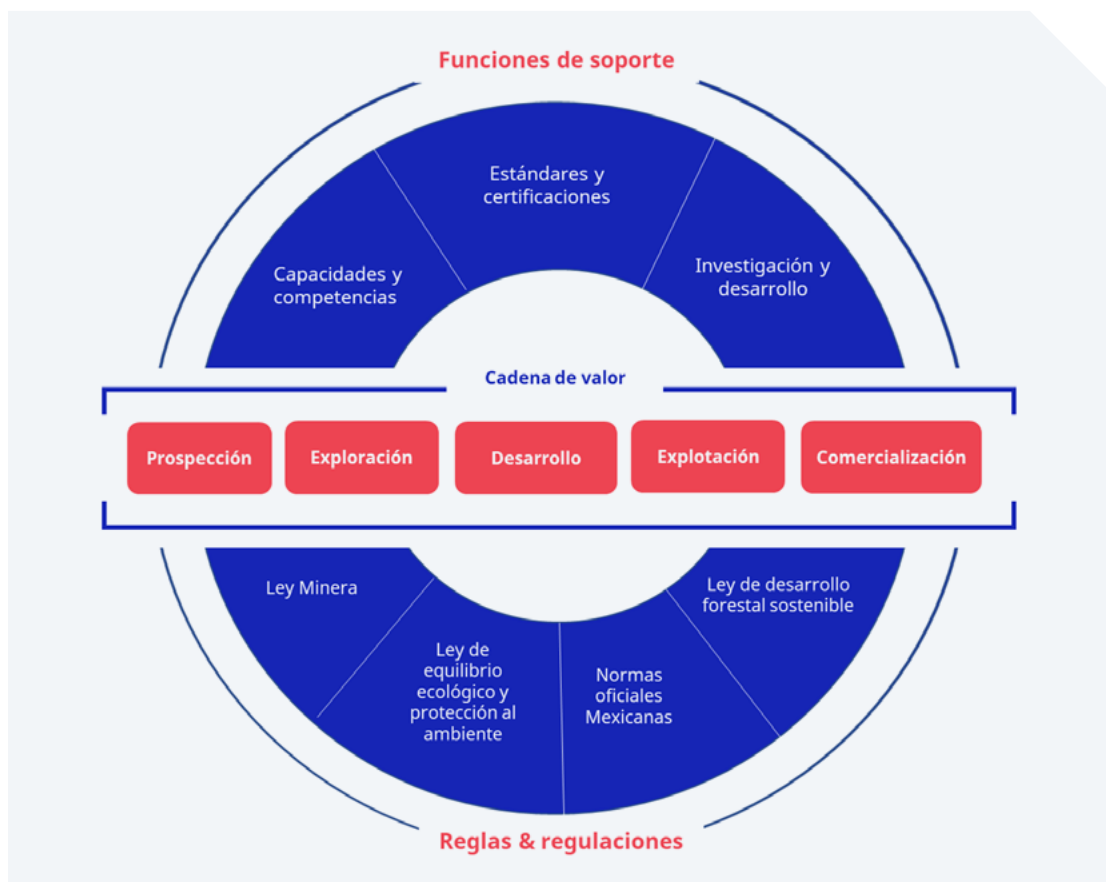


En esta sección se analizarán todos los elementos que comprenden al sistema de mercado, que abarca las transacciones de oferta y demanda que tienen lugar a lo largo de la cadena de valor, así como las "funciones de apoyo" y las "reglas y regulaciones" que rigen a las empresas y a los trabajadores que conforman dicha cadena. Este sistema no se limita únicamente a estas interacciones directas, sino que también tiene un alcance más amplio, pues los diversos actores de

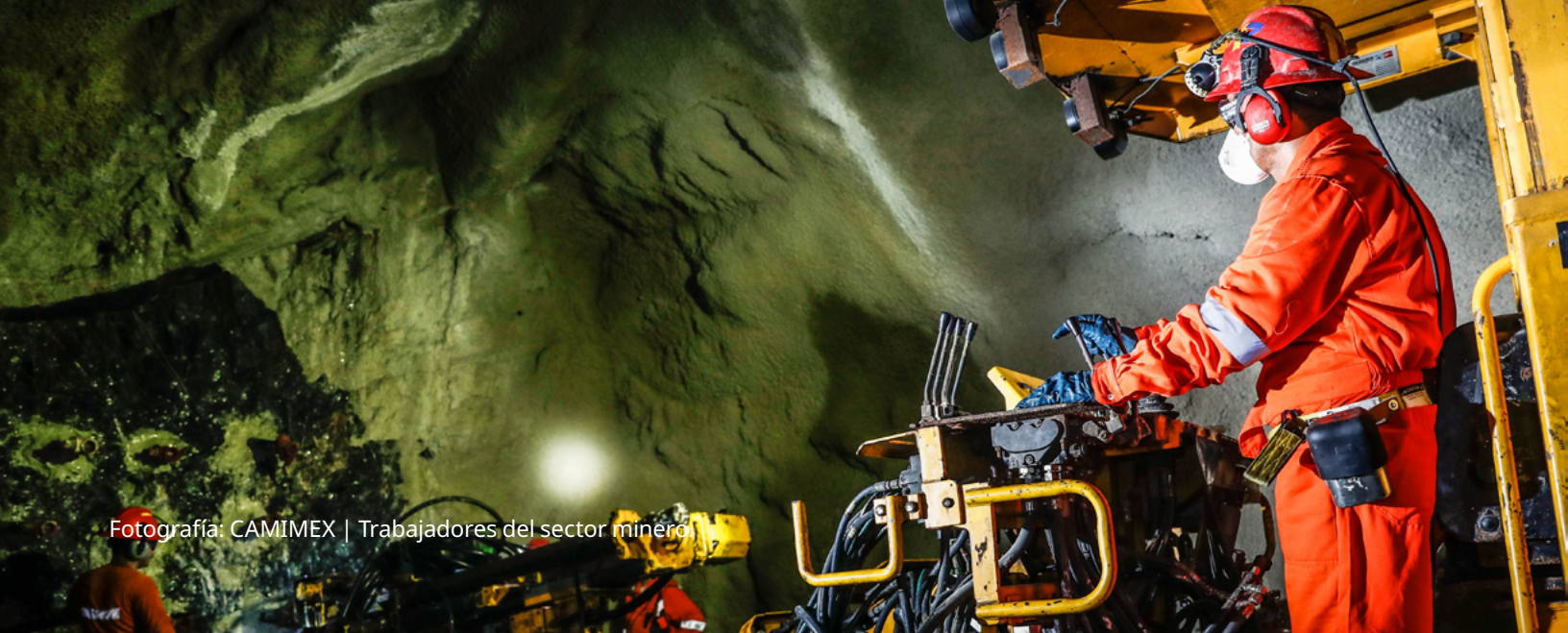
la cadena de valor no operan de manera aislada.

Su éxito comercial y las condiciones laborales en las que operan se ven influenciados tanto directa como indirectamente por factores que ocurren en su entorno económico, social y regulatorio. Es decir, el funcionamiento del sistema de mercado está interconectado y las acciones de un actor pueden tener repercusiones en otros, generando un efecto dominó en toda la cadena.

► Ilustración 2. Sistema de Mercado del sector minería responsable de minerales críticos



Fuente: Elaboración propia.



Fotografía: CAMIMEX | Trabajadores del sector minero

Cadena de valor

Prospección

Esta fase implica la identificación general de una reserva mineral potencialmente aprovechable en un área específica, con el objetivo de identificar una anomalía geológica¹⁰ que indique la presencia de un depósito mineral viable (Herrera, 2017).

Este proceso requiere la inspección de áreas que no hayan sido previamente investigadas, así como zonas cercanas a yacimientos minerales conocidos y otras que hayan pasado desapercibidas (SGM, 2017). Para ello, se utilizan técnicas basadas en estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos; complementadas con tecnología como la interpretación de imágenes satelitales y el uso de drones equipados con cámara y video. Esto con la finalidad de determinar los principales blancos prospectivos para las actividades de exploración (INGEMMET Perú, 2020).

Esta actividad tiene un impacto positivo (aunque moderado) en el empleo, debido a la contratación de profesionales técnicos y especialistas en geología para trabajos de escritorio y de campo, apoyados de aplicaciones tecnológicas, instrumentos de laboratorio, y equipos especializados. Las actividades relacionadas a la prospección no generan impactos ambientales significativos,

dado que implica una inspección en campo (MINEM, 2023).

Exploración

Esta etapa comprende la realización de estudios más detallados¹¹ para determinar las características fundamentales de un depósito mineral, tales como dimensiones, contenido, calidad y profundidad; con el fin de establecer el procedimiento más adecuado para su extracción (SGM, 2017).

Además, durante esta etapa se lleva a cabo un estudio de factibilidad para evaluar el potencial económico, tecnológico, social y ambiental que complementa la decisión de seleccionar el método de explotación y previamente contar con los permisos¹² correspondientes.

En México, se estima que hay 343 operaciones mineras metálicas en exploración (CartoCrítica, 2023). En el caso del litio, se encuentran tres¹³ yacimientos en esta etapa (Solís, 2023), mientras que para el cobre y la fluorita, hasta el 2022 se habían determinado que las reservas eran de 53 000 y 68 000 toneladas métricas, respectivamente (CEFP, 2024). Es importante señalar que la prospección y la exploración están estrechamente relacionadas, incluso combinándose en algunos casos. La duración de ambas etapas puede rondar entre uno a diez años (UNAM, 2024).

¹⁰ Es un cambio inusual en la composición del suelo, la mineralogía o geofísica (Rivadeneira, 2023).

¹¹ Puede involucrar la construcción de trincheras, socavones o perforaciones para investigar a profundidad una anomalía. La perforación puede requerir de equipos si se realizará desde la superficie o al interior de la mina.

¹² Pueden ser un estudio de impacto ambiental, cambio de uso de suelo, y/o las actividades que correspondan en caso de realizarse en un Área Natural Protegida (ANP); contar con una concesión y considerar una consulta a la población.

¹³ Los tres yacimientos se localizan entre los estados de Baja California, San Luis Potosí, Zacatecas, y Sonora.

► **Gráfica 1. Inversión en exploración y nuevos proyectos entre 2011 y 2022.**



Fuente: Elaboración propia adaptado de CAMIMEX (2022 y 2023).

En términos de empleo, durante la exploración se requiere la contratación de profesionales en la ingeniería y ciencias, especializados en áreas variadas como química, geología, cartografía, medio ambiente o física, tanto para el trabajo de campo como de gabinete (Herrera, 2017).

Las actividades de esta fase pueden generar externalidades al ambiente, dependiendo de la metodología utilizada, por lo que en su ejecución se requiere una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)¹⁴ para identificar las medidas de mitigación. Para los proyectos de mayor riesgo, es necesario realizar una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), incluyendo un estudio de riesgo (IGF, 2022).

Cumplir con la normativa ambiental y social previo a la ejecución de la exploración es crítico, porque la falta de estos permisos podría poner en riesgo el desarrollo del proyecto, el ecosistema local y la calidad de vida de la zona; lo que a su vez podría perjudicar la creación de empleos. En este sentido, el desarrollo de esta etapa tiene el potencial de crear empleos verdes,

particularmente asociado con los estudios y cumplimiento de regulaciones previamente descritas.

Desarrollo

Esta etapa comprende las acciones necesarias para preparar y desarrollar el espacio donde se localiza el depósito mineral, así como para permitir la explotación del mineral. Esto incluye un plan de infraestructura, estudios de factibilidad, obtención de permisos y licencias, costos de producción, construcción de la mina, así como su infraestructura y plan técnico de operación y cierre.

En esta se define el método de explotación¹⁵, lo que puede impactar en la viabilidad financiera de la operación. Además, en función del método de explotación deberán de solicitarse otros permisos y derechos, particularmente una Licencia Ambiental Única (LAU), una concesión de actividad minera otorgada por la Secretaría de Economía (SE); y otra para el aprovechamiento del recurso hídrico,

¹⁴ Los proyectos de las actividades de prospección gravimétrica, geológica superficial, geoeléctrica, magnetotélúrica, de susceptibilidad magnética y densidad; así como las obras de barrenación, de zanjeo y exposición de rocas, siempre que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas o eriales, y en zonas con climas secos o templados donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinares ubicadas fuera de las ANP no están sujetos a presentar un EIA.

¹⁵ Un método de explotación en minería se refiere a las técnicas utilizadas para extraer minerales de la tierra, y varía según el tipo de mineral, ubicación y geología del yacimiento. Existen varios métodos de explotación minera que se pueden clasificar principalmente en dos categorías: explotación a cielo abierto y explotación subterránea. La minería a cielo abierto se emplea para depósitos cerca de la superficie, mientras que la minería subterránea se utiliza para yacimientos más profundos, implicando la creación de túneles y galerías.

otorgada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

En el marco de la construcción de una mina es necesario realizar trabajos de gestión comunitaria y de infraestructura, para conectar a las comunidades cercanas. Para ello, debe incluir la mejora y construcción de carreteras, puentes y sistemas de transporte, facilitando el acceso y el desarrollo económico en la región. Paralelamente, es crucial implementar procesos de gestión comunitaria que permitan establecer un diálogo abierto y continuo con los residentes locales, para así crear mecanismos efectivos de comunicación. Estos pueden ser reuniones periódicas, comités comunitarios y canales de información transparentes, para asegurar que las preocupaciones y necesidades de la comunidad sean escuchadas y atendidas. De esta manera, se pueden fomentar relaciones de confianza y colaboración, garantizando que el desarrollo minero beneficie tanto a la empresa como a las comunidades involucradas.

Esta etapa es intensiva de mano de obra, tanto calificada para los procesos de planificación de proyectos y gestión comunitaria, como técnica y operativa dedicada a la instalación e infraestructura y construcción de la mina. Es importante mencionar que, aunque el grueso del empleo en esta etapa tiende a ser temporal, es común que las personas en las comunidades cercanas que sean contratadas puedan conservar sus empleos en la fase de explotación.

Explotación

Esta actividad comprende un conjunto de procesos destinados a la extracción de minerales dentro del área de concesión. Al desarrollarse en un espacio con poblaciones aledañas, puede ocasionar externalidades sociales y una afectación al ecosistema, lo que a su vez puede repercutir en posibles desplazamientos. A nivel ambiental puede contaminar el suelo por el derrame de combustible o la generación de escombros,

afectar el recurso hídrico y poner en riesgo su disponibilidad, incrementar la contaminación sonora por el transporte de los camiones y el uso de explosivos para la extracción del mineral y generando una disminución de la biodiversidad y una alteración del paisaje.

Frente a ello, es importante el monitoreo de los diferentes componentes ambientales a través del tiempo para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental; así como contar con un sistema para la gestión de los efluentes y residuos generados y el control de su disposición final, así como en la detección de fallas en los procesos, fugas y derrames e implementación de un programa de manejo de suelos para minimizar su impacto. Asimismo, la adopción de fuentes renovables contribuye a mitigar el consumo energético producto de la operación minera.

El cumplimiento de la normativa ambiental y el incluir el componente de la participación social es vital para evitar paralizaciones o posibles conflictos con la comunidad, riesgos en la seguridad del personal o una afectación al ecosistema, lo que afectaría la calidad de vida local, por ende, el desarrollo económico y el empleo.

En México todavía no se han iniciado proyectos de explotación de litio, pero se han identificado yacimientos que sugieren la presencia de este mineral en roca dura y arcilla. Esto implica un incremento de costos a comparación de su extracción en salmueras¹⁶, debido al nivel de experiencia y tecnología requeridos.

En el 2021, se instaló una planta piloto privada que lleva cuatro años en funcionamiento y utiliza una serie de procedimientos para obtener carbonato de litio. Actualmente, se encuentran en una fase de prueba para obtener hidróxido de litio y escalar su producción a 17 500 toneladas anuales, de acuerdo con lo previsto en la primera fase del proyecto (Pech, 2021). En cuanto al cobre, se extrae tanto en minas a cielo abierto¹⁷ como subterráneas, con una

¹⁶ En el caso de la explotación en rocas duras, requieren un promedio entre tres a cuatro años de inversión de capital antes de la producción. La mina tiene una vida útil de 16 años, mientras que la extracción en salmueras requiere un gasto de cinco años promedio de inversión de capital antes de la producción, pero con una vida útil de 30 años.

¹⁷ El 80 por ciento del cobre extraído a nivel nacional es a través de la minería a cielo abierto (Calderón, 2024).

producción registrada de 482 136 toneladas en el 2022. Por otro lado, la producción de fluorita en el mismo año fue de un 1 000 626 toneladas (SGM, 2023).

Esta etapa requiere entre cuatro a seis veces más personal, tanto de operación como administrativo, a comparación de las anteriores etapas. Los empleos de explotación son permanentes y suelen darse en condiciones de formalidad. Además, las

minas actúan como un tractor de actividad económica en las comunidades vecinas al crear trabajos bien remunerados y estimular la demanda de servicios y productos en la región, como transporte, construcción, comercio y alimentación. Además, las empresas mineras suelen invertir en infraestructura local como carreteras, escuelas y hospitales, mejorando la calidad de vida y facilitando el acceso a servicios básicos.

¿Qué sucede cuando la mina alcanza su máximo de vida útil?



Una vez completada la extracción del mineral se procede a concluir las operaciones mineras y poner en marcha el plan de cierre. Este instrumento es importante porque establece las obligaciones, procedimientos y acciones para la reparación, restauración, rehabilitación o remediación ambiental y mitigación o compensación. Es fundamental que este documento sea aprobado por la Secretaría de Economía (Garrigues, 2023).

Su principal objetivo es devolver las condiciones iniciales del espacio para garantizar el bienestar social y ambiental, por lo que su implementación debe ser supervisada. En términos de empleo, se requerirá de personal para la ejecución de las actividades de cierre, así como de la contratación de una consultora que permita el monitorear las condiciones del área antes, durante y al finalizar para evaluar la efectividad de las medidas adoptadas (Molina R., 2022).

Comercialización

La comercialización de minerales abarca una serie de actividades que comprenden la compra y venta¹⁸ de minerales¹⁹, aspectos logísticos, valoración de los minerales, aspectos legales para asegurar una negociación exitosa y la implementación de canales de distribución dirigidos al público final (Soto, 2022). Esta comercialización puede ser realizada de forma interna a plantas concentradoras o comercializadoras, o al mercado externo, en donde pasará por diferentes operaciones comerciales entre compradores y vendedores (Sanmillan, 2021).

En el caso del litio, al no existir yacimientos en la fase de explotación, su comercialización no ha sido realizada, pero estará a cargo del Estado a través de Litio para México. En cuanto al cobre, puede ser transportado

mediante diversos servicios, que van desde el uso del ferrocarril hasta equipos especializados en el traslado de minerales (Mining Mexico, 2021).

La exportación de cobre representó el 26,9 por ciento del total del valor de las ventas de las exportaciones mineras en 2023, ocupando el segundo lugar, sólo detrás del oro (CEFP, 2024). Por otro lado, la fluorita se vende a granel a las industrias consumidoras, mientras que las empresas intermediarias la venden en sacos, dejando el transporte correspondiente al consumidor (DGDM, 2021). También, se estima que el 80 por ciento de la producción está destinada al mercado externo (Morales, 2020).

Es importante destacar el potencial que tiene México para desarrollar la cadena de valor de la fluorita, el cobre y el litio; lo que implica fortalecer el procesamiento y crear

¹⁸ El precio de los minerales está influenciado por diferentes mercados, que pueden ser internacionales, regionales o locales.

¹⁹ Concentrados.

industrias nacionales que contribuyan al crecimiento económico del país. Ejemplo de ello son la instalación de fábricas de baterías y el crecimiento en la manufactura de ecotecnologías y vehículos eléctricos. (SGM, 2023),

Esta actividad tiene un potencial limitado para la creación de empleos verdes. Para algunas empresas, el proceso de comercialización se lleva a cabo en el marco de acuerdos corporativos, por lo que no se anticipa la creación de nuevos puestos de trabajo. En cuanto a la logística, existe un potencial incremento en empleos indirectos, pero mientras el proceso de transporte siga dependiendo de combustibles fósiles, la generación de empleos verdes será mínima.

Funciones de soporte

Capacidades y competencias

El acceso a formación tiende a ser amplio y bien estructurado. Desde el sector público se promueven capacitaciones en el sector minero mediante el Fideicomiso de Fomento Minero (FIFOMI), que realiza actividades de formación mediante cursos²⁰ presenciales o virtuales y brinda asistencia técnica para apoyar a las micro, pequeñas y medianas empresas mineras (Fideicomiso de Fomento Minero, 2023). En el 2022 se realizaron 82 cursos, de los cuales 54 fueron de manera presencial y 28 virtual; se capacitó a un total de 3 564 personas y 745 empresas. Además, se llevaron a cabo 18 visitas de acompañamiento técnico que benefició a 77 MiPyMEs (Secretaría de Economía & FIFOMI, 2022).

En el sector privado, la Cámara Minera de México (CAMIMEX) ofrece a las empresas mineras afiliadas la oportunidad de participar en capacitaciones relacionadas con la operación, sistemas de gestión en

seguridad, normatividad y salud. En el 2022 se registraron 3,36 millones de horas por personal capacitado en temas de seguridad, y 847 colaboradores lograron obtener una certificación sobre esta área, focalizada en los centros de trabajo (CAMIMEX, 2023). Esto, de acuerdo con entrevistas realizadas en el marco de este estudio, representa un incrementado de 400 por ciento²¹ en comparación con el 2021.

En el marco de la CAMIMEX, también se desarrolló un Comité de Gestión de Competencias (CGC)²² Laborales, encargado de desarrollar Estándares de Competencias en asociación con instituciones educativas y proveedores del sector, con el fin de sentar las bases de capacitación y certificación, así como promover la colaboración entre el sector académico y privado. Hasta el 2022, este comité ha podido emitir 1 314 certificados. Asimismo, se está trabajando para que estos estándares puedan convertirse en créditos académicos para obtener un nivel técnico, y se están evaluando las necesidades futuras del sector para mejorar su competitividad.

En este sentido, y en el marco de la transición energética y de la nacionalización del litio, se ha desarrollado una alianza público-privada para el desarrollo de un Diplomado en Cadena de Valor del Litio, con el objetivo de promover su industria en el país.

Es importante mencionar que a pesar de que existen iniciativas tanto públicas como privadas en materia de capacitación, se observa una brecha entre la oferta educativa y las demandas actuales del mercado laboral del sector, que enfrenta a una creciente competencia y diversidad de recursos minerales. Por consiguiente, es necesario formar a profesionales especializados que integren el desarrollo tecnológico desde una perspectiva de minería sostenible, así

²⁰ Los temas están relacionados con la exploración, explotación, beneficio y comercialización de minerales, así como su regulación correspondiente.

²¹ Se registró que las horas de capacitación por trabajador (empleo directo) fue de 52,5 horas y para el personal contratista fue de 20,5 horas.

²² Se encuentra integrado por CAMIMEX, el Consejo Nacional de Normalización por Competencias Laborales (CONOCER), Universidades Tecnológicas de Hermosillo y Zacatecas, el Centro de Estudios Técnicos Laguna del Rey de Industrias Peñoles, Red SMS PRO, y la Fundación para el Desarrollo Humano Cívica.



Fotografía: CAMIMEX | Trabajadores del sector minero.

como en el procesamiento de los minerales críticos en la cadena de valor (UNAM, 2022).

Estándares y certificaciones

Existen múltiples certificaciones (públicas y privadas) que son útiles para mejorar la competitividad y facilitar el acceso a mercados. Algunas de las más importantes son:

Certificado de Industria Limpia

Este certificado, de carácter voluntario, es otorgado por la Procuraduría Federal de Protección Ambiental (PROFEPA), dentro del Programa Nacional de Auditoría Ambiental. Reconoce a las industrias que superan las regulaciones mexicanas en temas de emisiones, residuos y agua.

Las empresas que obtienen este certificado tienen derecho a utilizar el logotipo del programa en sus productos y materiales promocionales; además de acceder a una serie de beneficios como reducción de tarifas en algunos trámites y servicios, prioridad en la obtención de permisos ambientales y reconocimiento público por su compromiso con el medio ambiente. La vigencia del certificado es de dos años, con posibilidad de renovarlo.

Adicionalmente las instalaciones podrán seguir mejorando su nivel de desempeño, teniendo la posibilidad de alcanzar un reconocimiento de mayor jerarquía. Para obtener el certificado de Industria Limpia, las empresas deben seguir un proceso que incluye la realización de dos auditorías (una interna, diagnóstica y una externa) así como la implementación de un plan de acción

para mejorar el desempeño ambiental. El certificado evalúa el desempeño ambiental en áreas como cumplimiento de la legislación ambiental, prevención de la contaminación, uso eficiente de los recursos o la implementación de un sistema de gestión ambiental.

Al cierre del año 2023, 63 se encuentran certificadas como Industrias Limpias y 30 están en proceso (CAMIMEX, 2024).

Certificado de Empresa Socialmente Responsable (ESR)

Este reconocimiento es otorgado por el Centro Mexicano para la Filantropía (CEMEFI) y la Alianza por la Responsabilidad Social Empresarial (AliaRSE) y se concede a aquellas empresas que demuestran un compromiso excepcional con la responsabilidad social y sostenibilidad en diversas áreas (CEMEFI, 2023).

Para obtener el Certificado de ESR, las empresas deben someterse a una evaluación integral de sus prácticas y políticas en aspectos clave como ética empresarial, vinculación con la comunidad, desarrollo social, cuidado y preservación del medio ambiente, entre otros. La evaluación se basa en un riguroso cuestionario que aborda diferentes dimensiones de la responsabilidad social corporativa.

Al recibir este certificado, las empresas obtienen un reconocimiento oficial de sus esfuerzos en responsabilidad social y también se integran a una red de compañías comprometidas con la creación de impacto positivo en la sociedad y el medio ambiente. Se renueva anualmente,

incentivando a las empresas a mantener y mejorar continuamente sus prácticas de responsabilidad social.

Al cierre del año 2023, 41 grupos mineros fueron distinguidos como ESR (CAMIMEX, 2024).

Además de las certificaciones nacionales, existe un amplio mercado de certificaciones

internacionales que certifican que las empresas nacionales cumplen con los estándares globales de calidad, control y gestión ambiental. Esto es especialmente relevante para aquellas empresas que buscan exportar sus productos o vincularse con cadenas de suministro globales. Las certificaciones más ampliamente utilizadas para estos fines en el sector son las conocidas como normas ISO.

¿Qué son las normas ISO?



Las normas ISO son un conjunto de estándares internacionales desarrollados y publicados por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés). Estas normas están diseñadas para asegurar la calidad, seguridad y eficiencia de productos, servicios y sistemas en diversas industrias. Estas normas buscan facilitar el comercio internacional, garantizar la calidad y seguridad de productos y servicios, y promover la innovación y la sostenibilidad. A través de ellas se establecen especificaciones técnicas y criterios precisos para asegurar que materiales, productos, procesos y servicios sean adecuados para su propósito.

Estas normas son desarrolladas por comités técnicos formados por expertos de diferentes países. Estos expertos colaboran para crear normas basadas en la experiencia y las mejores prácticas globales. Las normas son revisadas y actualizadas periódicamente para adaptarse a nuevos desarrollos tecnológicos y necesidades del mercado.

Las certificaciones ISO abordan una amplia variedad de temas y sectores. En el marco de la manufactura sostenible, las más relevantes son:

- **Certificación ISO 9001:** Establece los requisitos de gestión de calidad para satisfacer las demandas de los clientes, certificando que una empresa tiene la capacidad de proporcionar productos y servicios que cumplen con las exigencias internas y externas de la organización.
- **Certificación ISO 14001:** Enfocada en desarrollar un plan integral de gestión ambiental que abarque metas, políticas y procedimientos destinados a minimizar los impactos en el ecosistema, definiendo responsabilidades, actividades de formación del personal, documentación y un sistema de control ambiental.

- **Certificación ISO 45001:** Establece límites para los riesgos y procesos de control en los sistemas de trabajo, con el propósito de salvaguardar la salud de los colaboradores y visitantes, previniendo accidentes y enfermedades en el lugar de trabajo.
- **Certificación ISO 2800:** Establece las especificaciones para un sistema de gestión de la seguridad para la cadena de suministro, proporcionando un marco para que las organizaciones de cualquier tamaño y sector de la industria implementen un sistema de gestión de la seguridad para su cadena de suministro.

También destacan algunas certificaciones propias del sector. Por ejemplo, Hacia una Minería Sostenible (TSM²³ por sus siglas en inglés) es un programa de sostenibilidad reconocido a nivel mundial que apoya a

²³ Programa de sostenibilidad reconocido a nivel mundial que apoya a las empresas mineras en la gestión de las responsabilidades ambientales y sociales mediante estándares de desempeño.

las empresas mineras en la gestión de las responsabilidades ambientales y sociales mediante estándares de desempeño. En 2023 se firmó un acuerdo de colaboración con la Asociación Minera de Canadá para desarrollar el estándar Hacia una Minería Sostenible en México²⁴. Actualmente, se está trabajando en adaptar sus áreas de desempeño en el sector.

Por otro lado, se mantiene un sólido compromiso en materia de derechos humanos y se encuentra a la vanguardia de las actualizaciones al respecto, como la integración de la Ley Europea de Devida Diligencia y su incorporación en mejores prácticas y herramientas para el desarrollo de proyectos.

Investigación y desarrollo (I+D)

México proyecta desarrollar el primer Centro Internacional de Investigación sobre Litio, un proyecto que contará con un presupuesto de 60 millones de pesos, financiado conjuntamente entre el sector público y privado, y estará a cargo del Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Hidalgo. Incluirá un laboratorio con personal especializado para la fabricación de baterías de litio (Caro, 2024). Asimismo, según las entrevistas, la CAMIMEX dispone de un fideicomiso de becas para promover proyectos de investigación en innovación.

Entre 2020 y 2022, las empresas mineras incrementaron en un 79 por ciento en la adquisición de equipos más eficientes para sus operaciones e invirtieron 150 millones de dólares en investigación y desarrollo.

Un reto importante que enfrenta el país es la exploración de metodologías y el desarrollo de recursos tecnológicos propios y competitivos que permitan la explotación de este mineral a nivel industrial, considerando los factores ambientales en los que se encuentra y la reciente nacionalización, que limita la participación de actores privados.

En este sentido, existen algunas investigaciones sobre la explotación del

litio a cargo de universidades públicas en las zonas de alta actividad minera. Sin embargo, el país carece de una política en materia de ciencia y tecnología donde se priorice la investigación sobre explotación responsable de este y otros esenciales (Liñán, 2023).

Reglas y regulaciones

La actividad minera en México está sujeta a una serie de leyes y normativas, siendo la Ley Minera la más relevante en cuanto a minerales críticos, con implicaciones significativas en términos de mercado. Esta ley sufrió modificaciones recientes, destacando aspectos relacionados con las concesiones, la consulta previa y la clasificación del litio como mineral estratégico para el país. Esto ha generado cambios en las condiciones del mercado, además de incertidumbre en las inversiones privadas potenciales y actuales (CAMIMEX, 2023).

Por un lado, algunas opiniones destacan la importancia de que el Estado gestione el litio, argumentando que podría servir como base para un nuevo esquema industrial en este sector (Nava, 2023). Se menciona el caso del petróleo como antecedente, que tras años de desarrollo culminó con la creación de Petróleos Mexicanos (Pemex). Se considera que el proceso con Litio para México será más ágil debido a la innovación tecnológica actual y al personal especializado que conformará.

En este sentido, se plantea una oportunidad para fomentar el empleo local, desarrollar tecnología nacional y asegurar que los beneficios del litio serán para México, aprovechando la experiencia de profesionales de diversas áreas. Además, Litio para México piensa integrar la asociación público-privada, sumando a empresas que ya poseen una concesión con el fin de alcanzar objetivos comunes como la retención de valor agregado del recurso en el país, y asegurando capacidad y tecnología

²⁴ Es el quinto país en América Latina junto con Brasil, Colombia, Guatemala y Argentina, en la adopción de este estándar.



Fotografía: CAMIMEX | Trabajadores del sector minero.

necesaria para la fase de explotación (Solís, 2023).

Por otro lado, según otras fuentes, el Gobierno carece de los recursos necesarios para la explotación del mineral, lo que pone en duda la viabilidad del proyecto (Nava, 2023). Inicialmente, el Estado no planeaba involucrarse en este tema debido a los recursos requeridos y la existencia de concesiones en el país. Sin embargo, en los últimos años el interés en este sector ha aumentado considerablemente.

A pesar de esto, se señala que la creación de Litio para México no cuenta con una estrategia definida o planes concretos para el desarrollo de la cadena productiva del litio; y de no corregirse se estimaría que México tardaría aproximadamente 13 años en integrarse a esta industria competitiva (Cuéllar, 2023).

En el 2024, se asignaron 9,8 millones de pesos mexicanos (equivalente a 571 428 dólares de Estados Unidos) para iniciar con las operaciones. Este monto representa una cuarta parte de la inversión destinada por las empresas mineras para la exploración de yacimientos de litio. Dado que un

proyecto en esta etapa tiene una duración estimada de diez años, se considera que el presupuesto no es suficiente y podría alcanzar únicamente para cubrir la nómina del personal.

La inversión necesaria para la exploración requiere de cuantiosos recursos económicos y capital de riesgo que el Estado deberá proporcionar durante un periodo largo de tiempo. En los últimos 12 años, el sector privado invirtió un promedio 663,4 millones de dólares para esta fase, lo que permitió la apertura de 4,5 minas por año. En contraste, el Estado contempla una inversión de solo 2,4 millones de dólares, lo que representa 276, 4 veces menos y pone presión financiera sobre el estado, dejando ver la necesidad de formalizar mecanismos de articulación con el sector privado.

En la actualidad, la empresa estatal no ha iniciado las investigaciones necesarias para la exploración, explotación, producción, transformación y distribución del litio. En contraste, la minería de fluorita y cobre son actividades más consolidadas, con una participación tripartita y disposición para desarrollar iniciativas que promuevan el sector.

¿Qué efecto tendrá la modificación a la Ley Minera sobre las concesiones ya otorgadas?



En México, varias empresas privadas cuentan con concesiones para la exploración y explotación del litio, lo que ha creado un doble régimen tras las modificaciones a la Ley Minera (Escobedo, 2023). Esta situación plantea la posibilidad de una competencia entre el Estado y las empresas privadas, lo que podría generar inequidades. En caso de que se retiren las concesiones, el gobierno podría enfrentar demandas de indemnización o procesos legales que podrían llegar a instancias internacionales (Munguía, 2022).

En 2023 se cancelaron nueve concesiones de exploración debido al incumplimiento en el monto de inversión comprometido entre 2017 y 2021. Esta acción ha llevado a que la empresa afectada impugne la revocación mediante un amparo (Nava, 2023), el cual fue rechazado. Existe la posibilidad de que la empresa decida escalar este tema a instancias internacionales.

Por un lado, representantes del sector argumentan que la cancelación de las concesiones no debería ser posible, dado que la ley no tiene efecto retroactivo y estas modificaciones son recientes (Alegría, 2023). Por otro lado, se ha suscitado un debate sobre los minerales que pueden estar incluidos dentro de una concesión, no limitándose únicamente al litio. Algunas concesiones mineras fueron otorgadas para explotación de otros recursos, excluyendo el litio (Caro, 2024b). A pesar de este contexto, aún no se ha definido claramente cómo se procederá con la implementación de los cambios, lo que genera incertidumbre y podría afectar el clima de inversión para proyectos privados en otros minerales esenciales.

Además de la Ley Minera, el sector está ampliamente regulado en materia de cumplimiento ambiental, destacándose la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, donde se establecen una serie de reglas en materia de impacto ambiental, Áreas Naturales Protegidas (ANP), auditorías ambientales u ordenamiento ecológico. Otra regulación relevante para la actividad minera es la Ley de Desarrollo Forestal Sostenible, donde se establecen restricciones destinadas a proteger y gestionar de manera sostenible los recursos forestales en el marco de actividades extractivas.

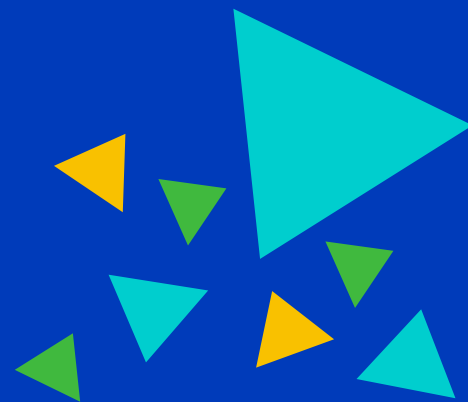
Finalmente, el sector las distintas actividades del sector se regulan por nueve Normas Oficiales Mexicanas²⁵ (NOM) que todas las empresas deben cumplir para poder realizar sus operaciones. Estas son:

- NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud.

- NOM-032-STPS-2008, Seguridad para minas subterráneas de carbón.
- NOM-120-SEMARNAT-2020, Protección ambiental en exploración minera directa.
- NOM-141-SEMARNAT-2003, Especificaciones y criterios depósitos de jales.
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Concentraciones de remediación de suelos.
- NOM-155-SEMARNAT-2007, Protección ambiental para lixiviación de oro y plata.
- NOM-157-SEMARNAT-2009, Planes de manejo de residuos mineros.
- NOM-159-SEMARNAT-2011, Protección ambiental para lixiviación de cobre.

²⁵ Una Norma Oficial Mexicana (NOM) es un conjunto de regulaciones técnicas obligatorias emitidas por las dependencias competentes del gobierno mexicano. Tienen como objetivo establecer requisitos específicos de seguridad, calidad, métodos de prueba, especificaciones y criterios que deben cumplir productos, procesos, servicios o instalaciones en diversos sectores para garantizar la protección de la salud, el medio ambiente, la seguridad de las personas y el cumplimiento de estándares mínimos de calidad.

Potencial de generación de empleo verde



En México, el sector minero presenta un alto potencial para la generación de empleo. Al cierre de 2022 registró más de 417 000 puestos de empleo directos, lo que representó un aumento del 2,8 por ciento con respecto al año anterior. Además, las personas trabajadoras en el sector reciben salarios 33 por ciento superiores a los del promedio nacional (CAMIMEX, 2023).

La capacidad para generar empleo en este sector dependerá del avance generado en la exploración y potenciales inversiones, tanto públicas como privadas, en la producción de minerales esenciales, aunque actualmente no hay un estimado específico sobre el potencial de creación de empleos derivado de la demanda de minerales esenciales. Sin embargo, se estima que si la inversión minera nacional alcanza los 11 000 millones de dólares entre el periodo 2024-2025, se podrían generar 300 000 empleos directos e indirectos (Tapia, 2023), esto sin contar el crecimiento de Litio para México.

El sector minero presenta una muy baja representación de mujeres en el empleo, quienes ocupan apenas el 8,49 por ciento del empleo en el subsector de Minería de Minerales Metálicos y No Metálicos, excepto petróleo y gas (INEGI, 2023). Además, su participación no es transversal, ya que aunque representan el 22 por ciento de los puestos en las áreas administrativas y de dirección, se encuentran solo en el 12 por ciento de los puestos de operación (INEGI, 2019). En términos salariales, en este subsector el salario de las mujeres es 13,1 por ciento superior al de los hombres (INEGI, 2023).

La industria minera también presenta una muy baja participación de personas jóvenes, pues mientras que 16 por ciento de personas

que integran la población económicamente activa tienen edades entre 15 y 24 años, apenas el 10,4 por ciento de la fuerza laboral del sector la integran personas trabajadoras en este rango de edad (INEGI, 2023).

Asimismo, en base a las entrevistas realizadas, se percibe que los profesionales o personal técnico por factores culturales o generacionales están prefiriendo oportunidades laborales remotas y en zonas urbanas. Frente a ello, el sector está implementando acciones tales como las mejoras en los campamentos con programas de bienestar y el diseño de turnos adecuados con más días libres que incluya el transporte a su localidad.

En México, la minería representa una oportunidad significativa en la creación de empleos formales (Secretaría de Economía, 2022). Este suele ofrecerse en condiciones de trabajo decente, con un 80,9 por ciento de empleo formal en el subsector de Minería de Minerales Metálicos y No Metálicos, excepto petróleo y gas (INEGI, 2023).

Si bien no existen datos oficiales que permitan desagregar los minerales esenciales del sector, la actividad minera emplea a una amplia variedad de ocupaciones. A continuación se presentan algunos datos generales sobre los grupos ocupacionales²⁶ mayormente vinculados con este sector, cuyo análisis brinda una perspectiva sobre la caracterización de la oferta laboral.

Profesionales de las ciencias y de la ingeniería

En este grupo las personas ocupadas realizan investigaciones, mejoran o

²⁶ Para efectos de este análisis se tomará como base a la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO), sistema de clasificación estadística creado por la OIT para categorizar los datos ocupacionales, permitiendo la comparación entre distintos países. Según la CIUO, un grupo ocupacional es un conjunto de ocupaciones que comparten características comunes en términos de las tareas que se realizan, los conocimientos y las habilidades requeridas, el nivel de educación y formación necesarios, y las condiciones de trabajo.

desarrollan conceptos, teorías y métodos operativos, o aplican conocimientos científicos relacionados con campos como la física, astronomía, meteorología, química, geofísica, geología, biología, ecología, matemáticas, estadísticas, arquitectura, ingeniería, diseño y tecnología. Algunas de las ocupaciones comunes de este grupo en el sector son profesionales de las ciencias (química, física, matemática y estadística), de las ciencias biológicas y de la ingeniería.

El 74 por ciento de las personas ocupadas en este grupo son hombres y apenas el

8,6 por ciento son personas jóvenes. Este grupo se caracteriza por tener un alto nivel de formalidad, apenas el 20 por ciento de las personas ocupadas tienen empleo informal, porcentaje mayor en las personas jóvenes (30 por ciento). En promedio, las personas ocupadas laboran 44,9 horas a la semana. Sin embargo, existen algunas disparidades entre los principales grupos, pues el número de horas trabajadas por los hombres (45,6) es mayor al de las mujeres (42,7) y las personas jóvenes (42,4).

► **Tabla 1. Principales indicadores laborales de los profesionales de la ciencia y la ingeniería**

Población	Personas ocupadas (Miles)	Empleo informal	Horas trabajadas promedio semanal
Total	790,3	20	44,9
Hombres	587,9	19	45,6
Mujeres	202,3	23	42,7
Jóvenes (15-24 años)	68,1	30	42,4

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2024).

Profesionales de las ciencias y de la ingeniería de nivel medio

Los profesionales en este grupo realizan actividades relacionadas con la investigación, acciones de supervisión y control de los componentes técnicos y operativos de la minería y manejo de equipos; así como en otras operaciones de ciencias e ingeniería. Entre las ocupaciones comunes destacan personas técnicas en ciencias físicas, ingeniería y control de procesos; así como técnicas y profesionales de nivel medio en ciencias biológicas y supervisoras en ingeniería de

minas, industrias manufactureras y de la construcción.

El 84 por ciento de las personas ocupadas en este grupo son hombres y apenas el 11,5 por ciento son personas jóvenes. Existe un alto nivel de formalidad, con solo el 24 por ciento de empleo informal, mayormente en las personas jóvenes (26 por ciento). En promedio, las personas ocupadas en este grupo laboran 47.5 horas a la semana, con algunas disparidades entre los principales grupos: el número de horas trabajadas por los hombres (48,0) es mayor al de las personas jóvenes (46,0) y las mujeres (44,9).

► **Tabla 2. Principales indicadores laborales de los profesionales de la ciencia y la ingeniería de nivel medio**

Población	Personas ocupadas (Miles)	Empleo informal	Horas trabajadas promedio semanal
Total	980,1	24	47,5
Hombres	823,4	26	48,0
Mujeres	156,8	12	44,9
Jóvenes (15-24 años)	112,8	26	46,0

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2024).

Peones de la minería, la construcción, la industria manufacturera y el transporte

Las personas ocupadas en este grupo realizan actividades rutinarias y manuales en operaciones mineras, de construcción, de la industria de manufactura y transporte. Asimismo, tienen la capacidad de manejar vehículos como maquinarias. La principal ocupación de este grupo en el sector corresponde a personal de la minería y construcción.

El 81 por ciento de las personas ocupadas en este grupo son hombres y apenas el 19 por ciento son mujeres. Se destaca un alto nivel de informalidad, con 27 por ciento de las personas ocupadas en empleo formal, mayormente mujeres (48 por ciento). En promedio, las personas ocupadas en este grupo laboran 44,9 horas a la semana: aunque el número de horas trabajadas por hombres (45,9) es mayor al de personas jóvenes (43,6) y las mujeres (41,0).

► **Tabla 3. Principales indicadores laborales del personal de la minería y la construcción**

Población	Personas ocupadas (Miles)	Empleo informal	Horas trabajadas promedio semanal
Total	3 786,6	73	44,9
Hombres	3 068,1	77	45,9
Mujeres	718,6	52	41,0
Jóvenes (15-24 años)	1 337,9	80	43,6

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2024).

Ocupaciones demandadas en el sector

El desarrollo del sector minero en México dependerá de la disponibilidad de una amplia variedad de ocupaciones, tanto administrativas como técnicas. Según entrevistas con actores del mercado, es necesario integrar conocimientos que permitan la optimización de los recursos, el análisis de datos y la mejora en la toma de decisiones considerando una visión transversal, además la detección de potenciales riesgos en la operación.

Asimismo, se requieren especialidades orientadas a la disminución de emisiones generadas por la actividad minera y sus residuos, así como a la implementación de fuentes energéticas para la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipos utilizados en el sector.

En ese sentido, existen algunos perfiles que destacan, tanto por su demanda proyectada, como por la complejidad en el desarrollo de las habilidades y competencias requeridas para realizar sus tareas.

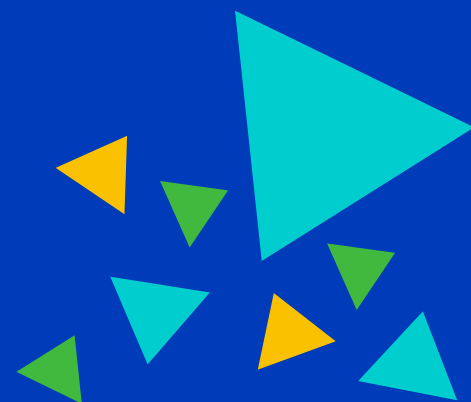
► **Tabla 4. Puestos y habilidades demandados**

Perfiles	Descripción
Profesionales de la ingeniería de minas	Se requiere de profesionales con sólidos conocimientos en ciencias e ingeniería para gestionar, coordinar y supervisar los proyectos mineros de manera sostenible; así como habilidades de análisis, interpretación y evaluación para la toma de decisiones en las operaciones mineras; implementación de programas e incluso para fiscalizar y auditar procedimientos con la finalidad de garantizar la conservación del medio ambiente y la seguridad de las comunidades aledañas.
Profesionales de la ingeniería ambiental	Esta posición es clave para impulsar la transición hacia una economía verde y requiere de una formación universitaria con una visión integral de la problemática de la minería y la aplicación de procesos tecnológicos para desarrollar la actividad de manera responsable y sostenible. Además, su participación es vital para promover el diálogo y fomentar la gobernanza entre los distintos actores del sector. Por otro lado, se demandan habilidades enfocadas en la evaluación de impactos ambientales para la mejora de los procesos, y de investigación para la resolución de problemáticas ambientales en el sector.
Especialistas en relaciones institucionales	Este perfil requiere de una formación universitaria en disciplinas ambientales o sociales con una especialización en gestión y manejo de conflictos socioambientales. Es importante que tengan habilidades y experiencia en la aplicación de mecanismos de prevención y técnicas de negociación al actuar como mediador en el diálogo entre la comunidad y otros actores clave para el desarrollo de proyectos de inversión. Asimismo, deben contar con conocimientos de la regulación ambiental y específica de la minería, para la elaboración de instrumentos de gestión socioambiental y de participación ciudadana.

Perfiles	Descripción
Profesionales de la ingeniería química	Estos profesionales cuentan con formación universitaria y conocimientos en ciencias e ingeniería para diseñar, desarrollar y gestionar los procedimientos que contribuyan con la transformación de la materia prima en productos con mayor valor agregado. Asimismo, es importante que conozca los protocolos de seguridad y la normativa ambiental para garantizar su cumplimiento en las actividades de procesamiento de los minerales. Finalmente, debe tener capacidad de investigación e implementación de métodos para proponer soluciones innovadoras y optimizar procesos vinculados a la separación y extracción de minerales, así como su concentración.

Fuente: Elaboración propia, basada en consultas con especialistas y representantes del sector.

Análisis de limitaciones de mercado y causas subyacentes



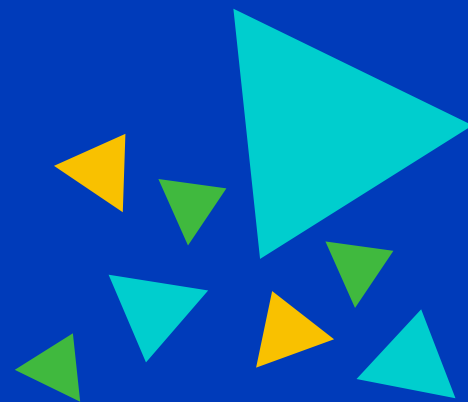
El análisis de la cadena de valor y las funciones de soporte, contextualizado con la estructura del sector, permite identificar algunos cuellos de botella que limitan el desarrollo eficiente del sistema de mercado.

El objetivo de esta sección es identificar las causas subyacentes de estas limitaciones, lo que permitirá desarrollar recomendaciones para realizar cambios sistémicos y abordar dichas causas.

► **Tabla 5. Principales limitantes de mercado vinculadas con los empleos verdes y la transición justa**

Limitantes de mercado	Causas subyacentes
Incertidumbre en el mercado de litio	• La exploración del litio se encuentra aún en fase inicial. • Baja rentabilidad, derivada de los elevados costos en la extracción y procesamiento, comparativamente con otras regiones. • Falta de mecanismos institucionales para articular la participación privada en el mercado del litio.
Incertidumbre sobre el entorno regulatorio	• Falta de un mecanismo institucional de colaboración público-privada en la cadena de valor del litio. • Falta de un programa detallado de desarrollo y explotación en Litio para México. • Modificaciones en la Ley Minera, que han generado cambios en las condiciones del mercado, generado incertidumbre en las inversiones privadas potenciales y actuales.
Escasez de mano de obra capacitada en el sector	• Desconocimiento sobre los potenciales impactos en la demanda de habilidades y ocupaciones, resultado del incremento en la extracción de minerales esenciales. • Desinterés de personas trabajadoras jóvenes de integrarse a empleos mineros en zonas remotas. • Escasez de programas formativos en materia de minería responsable. • Las ocupaciones con mayor demanda proyectada tienden a ser escasas.

Recomendaciones



En esta última sección se describirán algunas recomendaciones de intervención sistémica que atiendan las causas subyacentes de las limitantes de mercado analizadas en la sección anterior. También se identificarán potenciales actores clave en la intervención.

1. Fortalecimiento en el desarrollo de habilidades en materia de minería responsable

Actividades

- Acelerar el desarrollo de normas de competencias relacionadas con la minería responsable.
- Fortalecer la oferta de capacitación técnica, con enfoque en minería responsable de minerales esenciales.
- Crear espacios de diálogo entre academia, gobiernos estatales y sector empleador para revisar la pertinencia de los planes de estudio y transversalizar elementos de manufactura sustentable con enfoque regional a lo largo de los programas de formación profesional asociados con la ingeniería.
- Fortalecer y ampliar el programa de formación técnica dual como una iniciativa a nivel nacional.
- Desarrollar programas de recapitación para profesionales de la minería, con experiencia en otros minerales y procesos.
- Fortalecimiento de las capacidades de las oficinas del Servicio Nacional de Empleo para el desarrollo de campañas que promuevan el empleo del sector entre las personas jóvenes de las comunidades impactadas.
- Fortalecer la diplomacia académica y cooperación entre las instituciones de educación superior y centros de estudio para fomentar la investigación y desarrollo en tecnologías asociadas con la explotación y procesamiento de minerales esenciales.

Actores claves para la intervención

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• CAMIMEX• CONCAMIN• Litio MX• SGN | <ul style="list-style-type: none">• SEMARNAT• Gobiernos municipales• Gobiernos estatales• STPS |
|---|---|



Fotografía: Envato | Minería.

2. Fortalecimiento del marco regulatorio del sector	
Actividades	
• Creación de espacios de diálogo como seminarios o coloquios entre los distintos actores de la cadena, donde se puedan exponer los desafíos y oportunidades para el desarrollo regulaciones en el sector, incluido el desarrollo de mecanismos de cooperación público privados. • Acompañar a Litio para México en el desarrollo de estudios prospectivos de demanda de mano de obra y habilidades para la cadena de valor del litio. • Facilitar el diálogo entre Litio para México y otros organismos y empresas paraestatales como CFE o Pemex, para el desarrollo de una estrategia conjunta de transición justa.	
Actores claves para la intervención	
• CAMIMEX • CONCAMIN • Litio MX • SGN	• SEMARNAT • Gobiernos municipales • Gobiernos estatales • STPS

3. Desarrollar las capacidades de los actores del mundo del trabajo para incorporar la perspectiva de género en las contrataciones del sector

Actividades

- Implementar un programa de capacitación sobre inclusión de género en el sector dirigido a representantes de las empresas y responsables de las áreas de gestión humana y contratación.
- Desarrollar un certificado para empresas del sector que adopten prácticas de equidad de género.
- Crear espacios de diálogo, organización y networking para mujeres trabajadoras del sector, con el propósito de identificar potenciales áreas de acción para incrementar la participación de mujeres en el mismo.
- Crear programas de pasantías o mentorías con estudiantes mujeres de las áreas de ingeniería y medio ambiente o bien bachilleratos técnicos en producción en colaboración con la academia.
- Implementar mecanismos que incentiven la participación de mujeres en programas formativos del sector, tales como becas, estímulos o medidas de acción afirmativa.

Actores claves para la intervención

- | | |
|------------|-------------------------|
| • CONCAMIN | • SEMARNAT |
| • COPARMEX | • Gobiernos municipales |
| • STPS | • Gobiernos estatales |

Referencias

- Alegría, A. "En 2021, México recicló más de 1 millón de toneladas de plástico: Anipac". La Jornada, 13 de enero de 2022. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/01/13/economia/en-2021-mexico-reciclo-mas-de-1-millon-de-toneladas-de-plastico-anpac/>
- Ayala, C., J. Gallardo, y R. Vásquez. "Analizador en línea para un proceso de Extracción por Solvente". Ingeniare. Revista chilena de ingeniería 28, núm. 4 (Diciembre de 2020): 585–95. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000400585>
- Azamar, A., y I. Téllez. "Minería en México: panorama social, ambiental y económico". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/708117/Mineria-en-Mexico-2022.pdf>
- Banco Mundial. "Renewable Energy : Evaluation of the World Bank Group's Support for Electricity from Renewable Energy Resources, 2000-2017". World Bank. World Bank, 15 de octubre de 2015. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/197701602792711871/Renewable-Energy-Evaluation-of-the-World-Bank-Group-s-Support-for-Electricity-from-Renewable-Energy-Resources-2000-2017>
- Barrero, A. "Este es el mapamundi de los minerales críticos". Panorama. Energías Renovables, 27 de agosto de 2023. <https://www.energias-renovables.com/panorama/este-es-el-mapamundi-de-los-minerales-20230825>
- Bastida, A., Graham, J., Rupp, J., Sanderson, H., y Vásquez, P. EL LITIO DE AMÉRICA LATINA: PERSPECTIVAS SOBRE MINERALES CRÍTICOS Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA GLOBAL. Wilson Center & Latin America, 2023. https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/uploads/documents/El%20litio%20de%20Am%C3%A9rica%20Latina_perspectivas%20sobre%20minerales%20cr%C3%81ticos%20y%20la%20transicio%CC%81n%20energe%CC%81tica%20global.pdf
- Boewe, J, y J Schulten. THE TRANSFORMATION OF THE GLOBAL AUTOMOTIVE INDUSTRY. Rosa Luxemburg Stiftung , s/f. https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Studien/RLS_Transformation_of_Automotive_Industry_20230830_ENG_WEB.pdf&sa=D&source=docs&ust=1725738692357678&usq=AOvVaw1VN6Gwu-GI2rXBIE4nEeCM
- CAMIMEX. "INFORME DE SOSTENIBILIDAD 2022 MINERÍA RESPONSABLE, PILAR DE UN FUTURO SOSTENIBLE". CAMIMEX, 2022. <https://camimex.org.mx/sostenibilidad2022/INFORME-SOST-2022-WEB.pdf>
- Camimex. Informe Anual2022 . Camimex, s/f. https://www.camimex.org.mx/application/files/3416/6247/8997/07_info_2022.pdf
- Camimex. Informe de Sostenibilidad 2023. Camimex, 2023. <https://www.camimex.org.mx/packages/camimex/images/Informe-Sostenibilidad-2023-Camimex.pdf>
- Camimex. "Industria Limpia". Camimex, s.f. <https://camimex.org.mx/index.php/reconocimientos/industria-limpia>
- Caro, L. "Ganfeng Lithium, empresa China quemantiene disputa con México por litio". Debate, 16 de enero de 2024. <https://www.debate.com.mx/sonora/Ganfeng-Lithium-empresa-China-que-mantiene-disputa-con-Mexico-por-litio-20240116-0094.html>

- Caro, L. "México alista el primer Centro Internacional de Investigación sobre Litio". Debate, 15 de febrero de 2024. <https://www.debate.com.mx/estados/Mexico-alista-el-primer-Centro-Internacional-de-Investigacion-sobre-Litio-20240215-0049.html>
- Cartocrítica. "Las minas de México y su gestión ambiental". Cartocrítica, 11 de abril de 2023. <https://cartocritica.org.mx/2023/la-minas-de-mexico-y-su-gestion-ambiental/>
- CEFP. "Situación Actual de la Industria Minera en México, 2020-2023". Cámara de Diputados, 15 de abril de 2024. <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/documento/2024/cefp0132024.pdf>
- CEMEFI. "Centro Mexicano para la Filantropía". CEMEFI, s.f. <https://www.cemefi.org/>
- CEPAL. "Minerales críticos para la transición energética". CEPAL, Abril de 2023. https://foroalc2030.cepal.org/2023/sites/foro2023/files/nota_conceptual_evento_paralelo_minerales_para_la_transicion_publicafin.pdf
- Cervantes, P. "Prevén que inversión minera en el país alcance los 11 mil mdd en los próximos 2 años". Forbes México. Forbes, el 23 de octubre de 2023. <https://www.forbes.com.mx/preven-que-inversion-minera-en-el-pais-alcance-los-11-mil-mdd-en-los-proximos-2-anos/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. "Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe". Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Julio de 2023. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48964-extraccion-industrializacion-litio-oportunidades-desafios-america-latina-caribe>
- CONABIO. Capital Natural de México. México: CONABIO, 2017. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/14039.pdf>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. "Áreas Naturales Protegidas". Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 8 de mayo de 2023. <http://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>
- Cuéllar, A. "¿Qué ocurre con el litio nacionalizado en México?" Open Democracy, 5 de abril de 2023. <https://www.opendemocracy.net/es/que-ocurre-litio-nacionalizado-mexico/>
- Deetman, S., H. S. De Boer, M. Van Engelenburg, E. Van der Voet, y D. P. Van Vuuren. "Projected material requirements for the global electricity infrastructure – generation, transmission and storage". Resources, Conservation and Recycling 164 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105200>
- Deheza, P. "Situación y proyección de los minerales críticos para la transición energética". La Razón, 14 de julio de 2023. <https://www.la-razon.com/energias-negocios/2023/07/14/situacion-y-proyeccion-de-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/>
- Delgado, C., y M. Planelles. "El mundo consumirá un 30% más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París". El País, 14 de noviembre de 2017. https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591_352717.html
- Diario Oficial de la Federación. "DECRETO por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, de la Ley de Aguas Nacionales, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de concesiones para minería y agua."

Secretaría de Gobernación, 8 de mayo de 2023. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5688050&fecha=08/05/2023#gsc.tab=0

- Dirección General de Desarrollo Minero. "Perfil de Mercado de la Fluorita". Secretaría de Economía, 2021. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/624810/9Perfil_Fluorita_2020__T_.pdf
- Dufey, A. "Iniciativas para transparentar los aspectos ambientales y sociales en las cadenas de abastecimiento de la minería: tendencias internacionales y desafíos para los países andinos". Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45604-iniciativas-transparentar-aspectos-ambientales-sociales-cadenas-abastecimiento>
- Dufey, A., J. Jara, C. Sanhueza, B. Trincado, O. Urzúa, y P. Zamorano. "Bases para impulsar una minería sostenible y responsable: una ventana para dar un salto de prosperidad en el s. XXI: el caso de Colombia", Julio de 2023. Colombia. <https://publications.iadb.org/es/bases-para-impulsar-una-mineria-sostenible-y-responsable-una-ventana-para-dar-un-salto-de-0>
- EITI. "El fortalecimiento de la gobernanza de los minerales críticos". EITI, Mayo de 2022. <https://eiti.org/es/documents/el-fortalecimiento-de-la-gobernanza-de-los-minerales-criticos>
- El Colegio Mexiquense, A.C. "Conversatorio: La industria minera en México". El Colegio Mexiquense, A.C., 26 de abril de 2022. <https://korpust21.cmq.edu.mx/index.php/difusion/agenda-dif/862-conferencia-2022042601>
- Escobedo, I. "Nacionalización del litio en México: una oportunidad perdida". DW, 22 de febrero de 2023. <https://www.dw.com/es/nacionalizaci%C3%B3n-del-litio-en-m%C3%A9xico-una-oportunidad-perdida/a-64792240>
- Fideicomiso de Fomento Minero. "Capacitación y Asistencia Técnica". Fideicomiso de Fomento Minero, 13 de junio de 2024. <http://www.gob.mx/fifomi/articulos/capacitacion-84166?idiom=es>
- Garrigues. "México: Iniciativa de reforma en materia de minería y aguas nacionales". Garrigues, s.f. https://www.garrigues.com/sites/default/files/documents/20230414_alerta_administrativo_mexico_0.pdf
- González, A. "Situación actual de la minería en México". Research Gate, Agosto de 2020. https://www.researchgate.net/publication/343922088_Situacion_actual_de_la_mineria_en_Mexico
- Herrera, J. Introducción a la Minería (2ª Edición). Vol. III: La exploración e investigación minera. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2017. <http://oa.upm.es/63399/>
- IEA. "Critical Minerals Data Explorer – Data Tools". IEA, 17 de mayo de 2024. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>
- IGF. "Minerales Críticos: Datos Básicos". IGF, s.f. <https://www.igfmining.org/wp-content/uploads/2022/11/critical-minerals-primer-es-WEB.pdf>
- INECC. "Impactos del Cambio Climático en México". INECC, s.f. <https://cambioclimatico.gob.mx/impactos-del-cambio-climatico-en-mexico/>

- INECC. "Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI) - datos.gob.mx/busca". INECC, s.f. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Censos Económicos 2019". Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)". Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2 de septiembre de 2024. <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/#tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Minería". Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f. <https://www.inegi.org.mx/temas/mineria/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "PIB". Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/default.html#Tabulados>
- INGEMMET Perú. "Prospección y exploración: Generalidades y criterio básicos". INGEMMET Perú, 6 de noviembre de 2020. https://www.youtube.com/watch?v=2pYAbet3drY&ab_channel=INGEMMETPer%C3%BA
- Jameel, F. "Misión crítica: Necesitamos menos combustibles fósiles y más minerales críticos". Abdul Latif Jameel, 15 de junio de 2022. <https://alj.com/es/spotlight-by-fady-jameel/mission-critical-we-need-fewer-fossil-fuels-and-more-critical-minerals/>
- LexLatin. "LexLatin | Ley Minera en México: ¿Qué pasará con las concesiones de litio vigentes?" 29 de abril de 2022. <https://lexlatin.com/reportajes/ley-minera-en-mexico-concesiones-de-litio-vigentes>
- Liñán, K. "Los tres grandes retos tecnológicos del litio en México". Expansión, 1º de agosto de 2023. <https://expansion.mx/opinion/2023/08/01/los-tres-grandes-retos-tecnologicos-del-litio-en-mexico>
- Mariano, E. "No hay un yacimiento económicamente aprovechable de litio: Camimex". Mining México (blog), 7 de julio de 2023. <https://miningmexico.com/no-hay-un-yacimiento-economicamente-aprovechable-de-litio-camimex/>
- Martínez, N. "La legislación ambiental en México para la minería sostenible". En Aportes integrales para la minería en el desarrollo sostenible, 2021, ISBN 9786078784424, págs. 65-83, 65-83. Editorial de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, 2021. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8775621>
- Minería UNAM. "Conferencia Prospección y Explotación Minera, su importancia e influencia en aspectos ambientales". Minería UNAM, el 6 de mayo de 2024. https://www.youtube.com/watch?v=_Ha14IGL_K4&ab_channel=Miner%C3%ADa.UNAM
- Mining México. "Transporte de materiales para empresas mineras mexicanas". Mining México, 26 de febrero de 2021. <https://miningmexico.com/transporte-de-materiales/>
- Molina, R. "Guía para la planeación del cierre de minas: de la conceptualización a la elaboración de planes específicos". Repositorio Facultad de Ingeniería, s.f. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/18225>

- Morales, R. "EU requiere fluorita de México para enfrentar el Covid-19". El Economista, 15 de mayo de 2020. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/EU-requiere-fluorita-de-Mexico-para-enfrentar-el-Covid-19-20200515-0014.html>
- Murguía, D. "MINERALES Y MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS: POTENCIAL Y OPORTUNIDADES PARA ARGENTINA". CONICET, 12 de abril de 2021. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8182672.pdf>
- Nava, D. "Las concesiones del yacimiento de Sonora pasarían a la estatal LitoMx". Expansión, 14 de noviembre de 2023. <https://expansion.mx/empresas/2023/11/14/concesiones-yacimiento-sonora-pasaran-estatal-litio-mx>
- OIT. "Zero emission economy will lead to 15 million new jobs by 2030 in Latin America and Caribbean | International Labour Organization". IDB-ILO Report. OIT, 29 de julio de 2020. <https://www.ilo.org/resource/news/zero-emission-economy-will-lead-15-million-new-jobs-2030-latin-america-and>
- Olivera, B., C. Tornel, y A. Azamar. MINERALES CRÍTICOS PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA. CONFLICTOS Y ALTERNATIVAS HACIA UNA TRANSFORMACIÓN SOCIOECOLÓGICA. Fundación Heinrich Böll Ciudad de México y Universidad Autónoma Metropolitana, 2022. <https://mx.boell.org/sites/default/files/2022-12/minerales-criticos-e-book-ok.pdf>
- Pech, R. "LITIO VERDADES TÉCNICAS ECONÓMICAS LITIO EL FUTURO". Grupo Caraiva, s/f. <https://energiyahoy.com/wp-content/uploads/2021/10/LITIO-VERDADES-TECNICAS-ECONOMICAS.pdf>
- Requejo-Roque, K. "El cobre: un metal indispensable en la vida cotidiana y en los organismos". Revista de Química 33, núm. 1-2 (2019): 8-9. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/21429>
- Saget, C., A. Vogt-Schilb, y T. Luu. El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe, 2020. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/El-empleo-en-un-futuro-de-cero-emisiones-netas-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Secretaría de Economía y Fideicomiso de Fomento Minero. "PROGRAMA INSTITUCIONAL DEL FIDEICOMISO DE FOMENTO MINERO 2020-2024. Avance y Resultados 2022". Secretaría de Economía 2022. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/828191/Informe_Avance_y_Resultados_2022_FIFOMI_2.pdf
- Secretaría de Economía. "Manual del Inversionista en el Sector Minero Mexicano". Secretaría de Economía, Septiembre de 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/865073/Manual_del_Inversionista__sept2023_.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. "Factores que controlan un yacimiento". Servicio Geológico Mexicano, 22 de marzo de 2017. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Factores-control-yacimiento.html
- Secretaría de Economía. "Anuario Estadístico de la Minería de la Minería Mexicana 2022". Servicio Geológico mexicano, 2023. https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2022_Edicion_2023.pdf

- Solís, A. "¿Cuántas minas y reservas de litio tiene México y para qué sirve?" Bloomberg Línea, el 17 de febrero de 2023. <https://www.bloomberglinea.com/2023/02/17/cuantas-minas-y-reservas-de-litio-tiene-mexico-y-para-que-sirve/>
- Soto, B. "Valorización, comercialización y transacción de minerales para mejorar la gestión de operaciones de la empresa minera Sormin". Repositorio UNASAM, 2022. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5125>
- UNAM. "Minería precisa de profesionales con formación en cuidado del hábitat". DGCS, s.f. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2022_626.html
- Wiatros-Motyka, M-. "Global Electricity Review 2023". Ember, Abril de 2023. https://ember-climate.org/app/uploads/2023/04/Global-Electricity-Review-2023_ES.pdf



Organización
Internacional
del Trabajo

Promover
Promoviendo empleos cada vez + verdes

