



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Cuencas sedimentarias, su
importancia minera y sus
relaciones económicas**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A

Brandon Esparza Flores

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Dr. Dandy Calla Choque



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



Este trabajo de titulación fue realizado dentro del marco del Programa de Apoyo a Proyectos Para Innovar y Mejorar la Educación, de la UNAM (**PROYECTO PAPIME PE102024**), consistente en la elaboración del libro digital **“LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS DE MEXICO Y SUS RECURSOS NATURALES DEL SUBSUELO”**.



Este material didáctico representa un aporte del grupo de hidrometalurgia de la Facultad de Ingeniería (UNAM) como parte de su contribución científica y de su formación de recursos humanos.

Índice

I. Resumen	5
II. Abstract.....	6
III. Introducción.....	7
IV. Minería de minerales metálicos y no metálicos	10
a) Depósitos de minerales metálicos en cuencas sedimentarias	11
b) Clasificación de recursos minerales	14
c) Beneficio de minerales.....	17
d) Proyectos mineros activos en cuencas sedimentarias	18
e) Desarrollos y su impacto económico	32
V. Desafíos a futuro.....	40
VI. Conclusiones	42
VII. Autoevaluación	43
VIII. Bibliografía	49

I. Resumen

Las cuencas sedimentarias son de naturaleza relevante en la minería mexicana, debido a su contribución a la producción de minerales esenciales como oro, plata, cobre, zinc, y litio, que son importantes en la economía nacional y la transición energética. México cuenta con 1,218 proyectos mineros registrados ante la Cámara Minera de México (CAMIMEX, 2023) 89 están activos en estas cuencas, principalmente en las regiones de Chihuahua, Coahuila y Guerrero. La minería representa el 2.46% del PIB, abastece a 70 sectores productivos y genera empleos bien remunerados, aunque enfrenta desafíos como la disminución de inversiones por falta de nuevas concesiones y el acceso limitado a tecnología para la extracción de minerales estratégicos como el litio.

Es fundamental implementar políticas públicas sostenibles que promuevan la innovación tecnológica y refuercen la gestión ambiental, garantizando así una minería responsable y competitiva. Asimismo, la inversión extranjera es clave para potenciar el impacto social positivo en las comunidades mineras y responder a la creciente demanda de minerales críticos para energías renovables, equilibrando su explotación con el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.

II. Abstract

Sedimentary basins are relevant in Mexican mining, due to their contribution to the production of essential minerals such as gold, silver, copper, zinc, and lithium, which are important in the national economy and energy transition. Mexico has 1,218 registered mining projects, 89 are active in these basins, mainly in the regions of Chihuahua, Coahuila, and Guerrero. Mining represents 2.46% of GDP, supplies 70 productive sectors, and generates well-paying jobs, although it faces challenges such as a decrease in investment due to the lack of new concessions and limited access to technology for the extraction of strategic minerals such as lithium.

It is essential to implement sustainable public policies that promote technological innovation and strengthen environmental management, thus ensuring responsible and competitive mining. Foreign investment is also key to enhancing the positive social impact on mining communities and responding to the growing demand for critical minerals for renewable energy, balancing their exploitation with economic development and environmental protection.

III. Introducción

México se divide en 32 estados, en 26 de ellos existen 1,218 proyectos mineros (Cámara Minera de México, 2023), concentrándose en Sonora el mayor número con 282, 160 en Chihuahua, 128 en Durango y 651 en otros estados. Un total de 263 proyectos están en etapa de exploración, 77 en producción, 33 en etapa de desarrollo, mientras que 837 proyectos están postergados y 8 operaciones se reportan en cierre (Cámara Minera de México, 2023). Este capítulo solo considera los proyectos que cuentan con los siguientes datos: propietario, ubicación, mineral de interés, y fase en la que se encuentra.

Las fases que componen un proyecto minero son:

Exploración. Etapa inicial del proceso minero involucra la identificación y exploración preliminar del área de interés, donde se busca reconocer rasgos geológicos y la presencia de minerales mediante mapas geológicos, imágenes satelitales, estudios documentales, etc. Durante esta etapa, se identifican irregularidades en el terreno que justifican la realización de estudios detallados como visitas a campo, geofísica, muestreo superficial, geoquímica, barrenación, etc.

Desarrollo. En esta fase, se establecen las labores y acciones dirigidas a la preparación y avance del área que abarca el depósito mineral, así como aquellas destinadas a la extracción de los minerales. Los trabajos por realizar varían según el método de extracción y la infraestructura disponible para el transporte del mineral. Los estudios de factibilidad durante esta etapa son necesarios, abarcan análisis y evaluaciones de información geológica, ingenieril, económica, social, legal y del entorno del yacimiento, éstos son cruciales para seleccionar el método de explotación más adecuado, ya sea subterráneo o a cielo abierto.

Explotación. La extracción del mineral es el proceso central en la explotación minera. Implica retirar el material útil del yacimiento, considerando el tipo de mineral, su ubicación, la forma del depósito y las condiciones geológicas.

Las operaciones mineras se dividen en subterráneas si el mineral se encuentra a una profundidad mayor que 400-500 metros; sin embargo, este límite puede variar debido a factores como costos de operación, normatividad ambiental, y características del mineral;

a cielo abierto si el yacimiento está cercano a la superficie, es de una extensión superficial significativa (varios kilómetros cuadrados), un volumen considerable de mineral (decenas o cientos de millones de toneladas) o el mineral de interés se encuentra diseminado. Pero la viabilidad de usar minería a cielo abierto también dependerá de factores como la ley del mineral, la accesibilidad, y la rentabilidad económica de la operación.

Beneficio. Consiste en procesar el mineral utilizando diversos métodos, que varían según el tipo de mineral a extraer. Estos métodos incluyen la liberación del mineral de interés mediante la reducción de tamaño (trituración y molienda), concentración de los minerales de interés, lixiviación, fundición, entre otros. El objetivo principal es recuperar los minerales o sustancias de valor económico al aumentar la concentración y pureza de uno o varios componentes. Una operación minera se encuentra en esta etapa cuando se está extrayendo el mineral que es enviado a una planta de beneficio y en esta se procesa el mineral hasta obtener un producto comercializable (concentrado).

Cierre. Fase final del ciclo minero, en ella se llevan a cabo una serie de acciones desde el inicio, durante el proceso, cierre y poscierre de la actividad productiva de la mina, con el fin de reducir el impacto ambiental de las operaciones mineras. Las labores o acciones asociadas al cierre de una mina incluyen estrategias orientadas a mitigar de forma integral los efectos posteriores a la operación minera, abarcando tanto medidas ambientales como iniciativas sociales. Entre las principales obras se encuentran; 1) Retiro de maquinaria, equipos e instalaciones para su reutilización o reciclaje, 2) Implementación de medidas para asegurar la estabilización física y química de las áreas, cumpliendo con normativas sobre confinamiento y depósito de residuos, 3) Preparación del suelo y reintroducción de especies nativas de flora y fauna en las áreas afectadas. Además, se realiza una contribución significativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU; en particular, la etapa de cierre de una mina guarda una relación directa con los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), 12 (Producción y consumo responsable) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres). Es importante destacar que, aunque el cierre suele ser la última fase planificada y ejecutada, no siempre ocurre al final del ciclo minero. Esto se debe a que, en cualquiera de las etapas, puede presentarse una interrupción que obligue a cerrar la mina antes de completar todo el proceso del proyecto.

Poscierre. En la etapa de poscierre de las operaciones mineras, es importante que parte del personal continúe presente para supervisar y monitorear las medidas de seguridad y remediación ambiental, con la finalidad de asegurar que se mantengan en condiciones óptimas, los planes y medidas implementadas. Los manuales de seguridad y de atención a incidentes, así como el plan de manejo de contingencias, deben mantenerse actualizados y se debe asegurar su supervisión continua. Por último, las actividades de monitoreo se deben seguir realizando hasta que se garantice la total efectividad de los procesos de control y remediación.

Los proyectos consultados en el Servicio Geológico Mexicano corresponden a proyectos que tienen etapas de exploración, preparación y explotación en su portafolio de proyectos, por lo tanto, no se incluye aquellos proyectos que no se encuentren en estas etapas.

IV. Minería de minerales metálicos y no metálicos

La minería de metales implica la extracción de minerales que contienen elementos valiosos como oro, plata, cobre, hierro, zinc, plomo, entre otros. Desde hace siglos hemos utilizado los recursos naturales de nuestro planeta, desde la simple recolección de piedras para la fabricación de herramientas hasta el surgimiento de grandes proyectos relacionados a la industria minera y extractiva. Los metales están presentes en todos los ámbitos de nuestra sociedad, se utilizan como parte de productos duraderos y no duraderos, así como en diversas actividades industriales, desde la construcción de edificios hasta la fabricación de artículos sanitarios, aunque su utilización es evidente, a menudo no se reconoce su importancia.

En México, la minería es un sector notable de la economía nacional, aporta 2.46% PIB (Producto Interno Bruto) nacional. El valor de la producción minero-metalúrgica en el país alcanzó los 316 mil 956 millones de pesos (15,751 millones de dólares), lo que implicó una disminución del 5.3% en comparación con el año pasado (Figura 1).

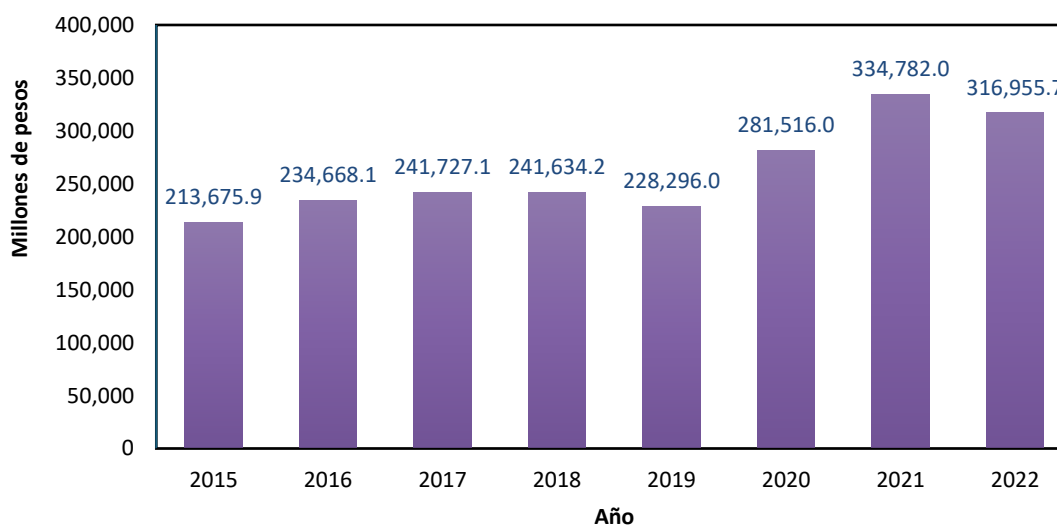


Figura 1. Valor de la producción Minero – Metalúrgica Nacional 2015-2022 (Cámara Minera de México, 2023).

En 2022, el oro continuó siendo el principal producto de la industria minero-metalúrgica del país, representando el 30.6% del valor total de la producción, seguido por el cobre con un 27.2% y la plata con un 17.6% (Figura 2).

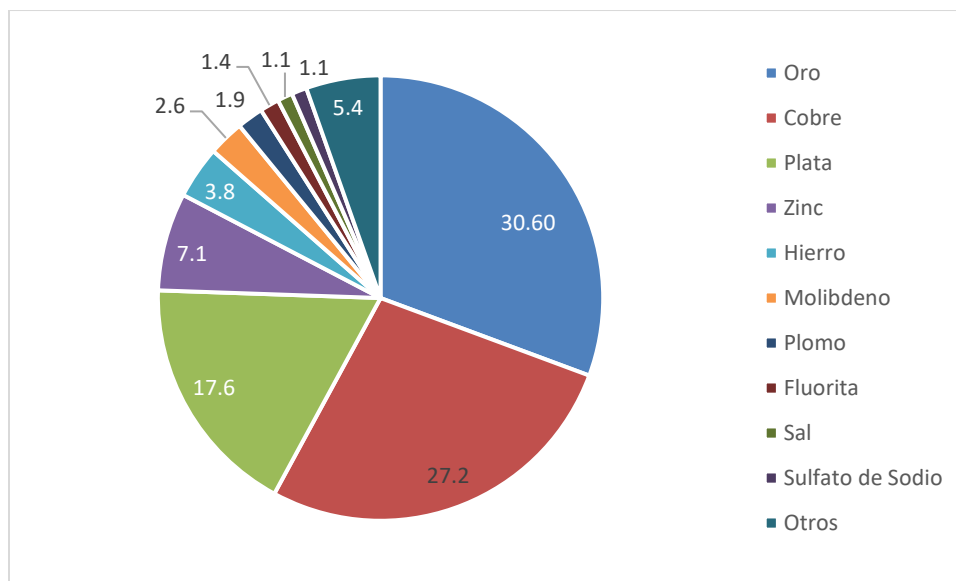


Figura 2. Principales productos en el valor de la producción Minero - Metalúrgica (Cámara Minera de México, 2023).

Además, es un pilar para el bienestar y calidad de vida de 696 comunidades ubicadas en 212 municipios del país. Del total de proyectos (1218), 751 corresponden a metales preciosos, 182 a minerales polimetálicos, 167 a cobre, 74 a mineral de hierro, 24 a litio y los 20 restantes a otros metales y minerales (Cámara Minera de México, 2023).

a) Depósitos de minerales metálicos en cuencas sedimentarias

Los yacimientos de minerales, tanto metálicos como no metálicos, son acumulaciones de una o más sustancias útiles que en su mayoría están distribuidos en la corteza exterior de la Tierra. Los depósitos de minerales metálicos suelen contener concentraciones de metales. Estos metales representan la parte valiosa del yacimiento y suelen estar unidos químicamente a otros elementos, formando menas minerales. Estas menas a menudo se

encuentran mezcladas con minerales no metálicos, conocidos como ganga, y su combinación constituye la mena que generalmente está incrustada en rocas.

Las menas son la fuente primaria de los metales y otros elementos útiles para la industria. En las menas se hallan, principalmente, minerales metálicos, como la galena, extraída para obtener plomo. Algunos minerales no metálicos, como la malaquita, la bauxita o la cerusita, contienen cobre, aluminio y plomo, respectivamente.

El mismo metal puede extraerse de diferentes minerales, existen varios minerales de cobre como la calcosina, bornita, calcopirita, cuprita, malaquita, etc., uno o varios de estos minerales pueden estar presentes en un depósito.

Algunas de las menas más importantes se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Menas más comunes (Haldar, 2020).

Metal	Mineral	Composición	% de metal	Primario	Supergénico
Oro	Oro nativo	Au	100	X	X
	Calaverita	AuTe ₂	39	X	
	Silvanita	(Au, Ag) Te ₂	34	X	
Plata	Plata nativa	Ag	100	X	X
	Argentita	Ag ₂ S	87	X	X
	Querargirita	AgCl	75		X
Hierro	Magnetita	FeO·Fe ₂ O ₃	72	X	
	Hematita	Fe ₂ O ₃	70	X	X
	Limonita	Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	60		X
	Siderita	FeCO ₃	48	X	X
Cobre	Cobre nativo	Cu	100	X	X
	Bornita	CuFeS ₄	63	X	X
	Brochantita	Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆	62		X
	Calcosina	Cu ₂ S	80	X	X
	Calcopirita	CuFeS ₂	34	X	X
	Covelina	CuS	66	X	X
	Cuprita	Cu ₂ O	89		X
	Enargita	Cu ₃ AsS ₄	48	X	
	Malaquita	CuCO ₃ (OH) ₂	57		X
	Azurita	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	55		X
	Crisocola	(Cu,Al) ₄ H ₄ (OH) ₈ Si ₄ O ₁₀ ·nH ₂ O	36		X
Plomo	Galena	PbS	86	X	
	Cerusita	PbCO ₃	77		X
	Anglesita	PbSO ₄	68		X
Zinc	Blenda	ZnS	67	X	
	Smithsonita	ZnCO ₃	52		X
	Hemimorfita	ZnSiO ₅ H ₂	54		X
	Cincita	ZnO	80	X	

La ganga abarca minerales que acompañan a la mena, pero no presentan interés económico en el momento de la explotación, como el cuarzo, calcita, feldespatos, etc. Pueden ser minerales introducidos o están presentes en la roca encajonante, que usualmente son desechados durante el proceso de beneficio. No obstante, algunas sustancias que se consideran como parte de la ganga pueden tener aplicaciones secundarias en ciertos casos, por ejemplo, la roca de ganga se puede usar como material para pavimentar carreteras, el espato de flúor como fundente, el cuarzo como abrasivo o mortero para construcción. Minerales que actualmente se consideran como un escaso valor económico pueden tener un impacto significativo en el método de explotación y tratamiento, así como los costos asociados, lo que a su vez puede influir en la valoración del mineral. En la Tabla 2 se presentan algunos de los minerales de ganga más comunes.

Tabla 2. Minerales de ganga más comunes (Haldar, 2020).

Nombre	Composición
Cuarzo	SiO ₂
Bauxita	Al ₂ O ₃ ·2H ₂ O
Limonita	Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O
Calcita	CO ₃ Ca
Siderita	CO ₃ Fe
Baritina	SO ₄ Ba
Feldespatos	-
Yeso	SO ₄ Ca+H ₂ O
Dolomita	CO ₃ (Ca, Mg)
Arsenopirita	SAsFe
Marcasita	S ₂ Fe
Clorita	-
Granate	-
Apatito	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH)
Minerales arcillosos	-

Dentro de las cuencas sedimentarias de México existen yacimientos de todo tipo, veta, manto, chimenea, skarn, diseminado, stockwork, irregular, brecha, etc. Por ejemplo, en el distrito minero de Santa Eulalia ubicado en la cuenca de Chihuahua, se encuentran una serie de cuerpos minerales en forma de chimeneas, mantos y vetas emplazadas en calizas cretácicas (Hernández, et al. 2000). Otro ejemplo es el distrito minero de Taxco, productor de Ag, Pb, Zn, Au y Cd, en estructuras de relleno tipo veta – falla (Rivera, et al. 2020). Los

yacimientos de Bismarck y Naica en Chihuahua son los más conocidos de los yacimientos tipo skarn (Servicio Geológico Mexicano, 2021). Algunos de los yacimientos incluso son considerados yacimientos de clase mundial como el de Santa Eulalia ubicado en la cuenca de Chihuahua, El arco en la cuenca Vizcaíno – Purísima y Los filos – Bermejil en la plataforma Guerrero – Morelos (Servicio Geológico Mexicano, 2024). Se denomina yacimiento de clase mundial a aquellos que contienen reservas de gran magnitud en comparación con otros yacimientos del mismo tipo, con alta ley de mineral y que pueden ser explotados durante varias décadas.

b) Clasificación de recursos minerales

Los recursos minerales y las reservas de mineral se refieren a la estimación del tonelaje y la calidad del depósito mineral, sin embargo, es una estimación y no es definitiva hasta que se extrae todo el mineral. Las diversas técnicas de muestreo se llevan a cabo con diferentes densidades o intervalos, lo que implica incertidumbres y comparabilidad asociadas (Haldar, 2020). El sistema de clasificación de recursos y reservas minerales, junto con el código de presentación de informes, ha evolucionado a lo largo de los años en distintos países, basándose en un modelado geológico, la conveniencia de uso y la necesidad de inversión en el sector minero. Durante el siglo XX, se utilizó un sistema de clasificación convencional o tradicional, surgieron nuevos desarrollos que satisfacían estatutos, regulaciones, funciones económicas, mejores prácticas de la industria, competitividad y aceptación internacional. El nivel de certeza en las estimaciones de tonelaje y ley puede clasificarse cualitativamente usando terminología adecuada. Para mejorar el aporte de la exploración y alcanzar un alto grado de certidumbre y viabilidad económica, la categorización se ha dividido en "reservas económicas" y "recursos subeconómicos condicionales" las cuales se subdividen en desarrollados, probados, probables y posibles (Figura 3).

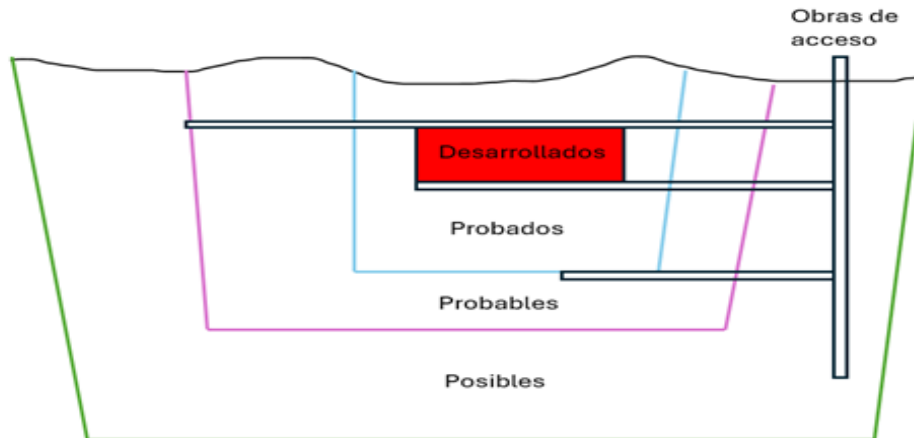


Figura 3. Método de clasificación de reservas tradicional (Halдар, 2020).

Por otro lado, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) recopiló datos a nivel nacional sobre recursos geológicos y creó un sistema de clasificación basado en dos ejes, un aumento en la certeza geológica y una mayor viabilidad económica. Este sistema distingue entre recursos identificados y no identificados. Los recursos identificados incluyen reservas medidas (probadas), indicadas (probables) y recursos inferidos (posibles), que se dividen en subcategorías económicas y subeconómicas (Figura 4). Por otro lado, los recursos no identificados se clasifican en tipos hipotéticos (prospectivos) y especulativos (pronósticos). El esquema de clasificación pone especial atención en los recursos subeconómicos identificados para futuros objetivos. Además, tiene concepto de la probabilidad de existencia de recursos no descubiertos, considerados en un contexto hipotético y especulativo.

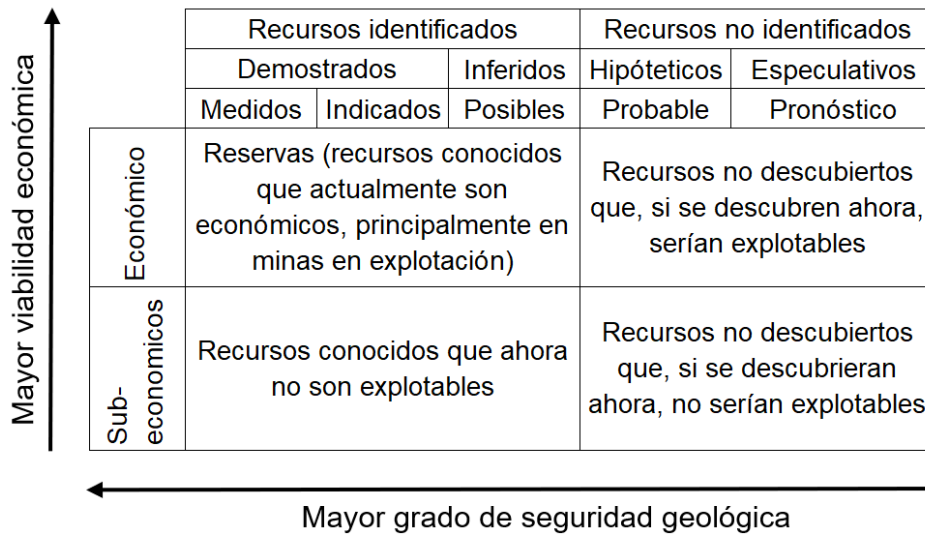


Figura 4. Esquema de clasificación de recursos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Haldar, 2020).

La figura ilustra la progresión desde un yacimiento mineral hasta un depósito mineral, pasando por recursos y reservas minerales probadas, hasta llegar a una explotación rentable. El éxito de esta progresión depende principalmente de la calidad de la observación e interpretación geológicas y su aplicación en la industria.



Figura 5. La progresión desde una prospección mineral hasta la extracción de minerales (Davis, 2005).

c) Beneficio de minerales

Para la comercialización de minerales, es necesario concentrar al máximo el mineral en bruto. El proceso de beneficio de minerales es la ciencia y el arte de separar los minerales metálicos y no metálicos valiosos de los minerales de ganga (Haldar 2020). El beneficio del mineral se realiza en etapas de liberación y concentración de la siguiente manera:

1) El proceso comienza con la recepción del material recién extraído de la mina, que generalmente contiene fragmentos de diversos tamaños y presenta impurezas. Este material se traslada a través de cintas transportadoras o vehículos hacia la planta de procesamiento, donde inicia la etapa de trituración.

2) La trituración se realiza al comprimir el mineral contra una superficie rígida o al impactarlo contra una superficie en una trayectoria de movimiento con limitaciones rígidas. Entre las trituradoras más utilizadas en el procesamiento de minerales se encuentran la trituradora de mandíbulas, la trituradora giratoria y la trituradora de rodillos, que manejan un tamaño de alimentación de hasta 220 cm y reducen el material a un tamaño de salida que varía entre 0.5 y 2 cm (Haldar, 2020).

3) La molienda es la etapa final del proceso de liberación, y generalmente se lleva a cabo en recipientes cilíndricos giratorios de acero de alta resistencia, en seco o en suspensión en agua. Los fragmentos de material procedentes de la trituradora giran libremente dentro del molino giratorio, junto con un medio de molienda. La molienda se produce por impacto o compresión debido a fuerzas aplicadas casi perpendicularmente a la superficie de las partículas y por abrasión debido a fuerzas que actúan paralelamente a las superficies. Existen cinco tipos de molinos, de bolas, de barras, de guijarros, autógeno y semiautógeno. El molino reduce las partículas de alimentación, que tienen un tamaño inicial de hasta 520 mm, al tamaño óptimo de entre 40 y 300 μm , según lo requerido para el beneficio.

4) Estos productos intermedios de la concentración (beneficio) pueden obtenerse mediante diversos procesos de lixiviación, clasificación de minerales, concentración por gravedad, esclusas y conos, espiral, mesa vibratoria, separador multigravedad, separador magnético, separación por medios densos y flotación por espuma (Haldar, 2020).

5) La fundición optimiza la separación del mineral de los minerales de ganga (Ammen, 1997). Durante este proceso, los concentrados se funden en un horno a alta temperatura, generando una masa fundida de silicato (escoria) y una masa fundida inmisible (mata) y las masas se separan debido a las diferencias de densidad. La refinación se puede realizar en dos procesos: electrometalurgia y pirometalurgia.

6) La refinación es el proceso de purificar un metal impuro hasta alcanzar su forma más pura (99.99%). Existen diferentes métodos de refinación, como la refinación térmica y el refinado electrolítico.

7) Los minerales finalmente aportan elementos metálicos o no metálicos en su forma más pura después de varios procesos. Los procesos como trituración - molienda - concentración - fundición - refinación - elementos metálicos/no metálicos más puros generan productos utilizables para la sociedad (Figura 6).

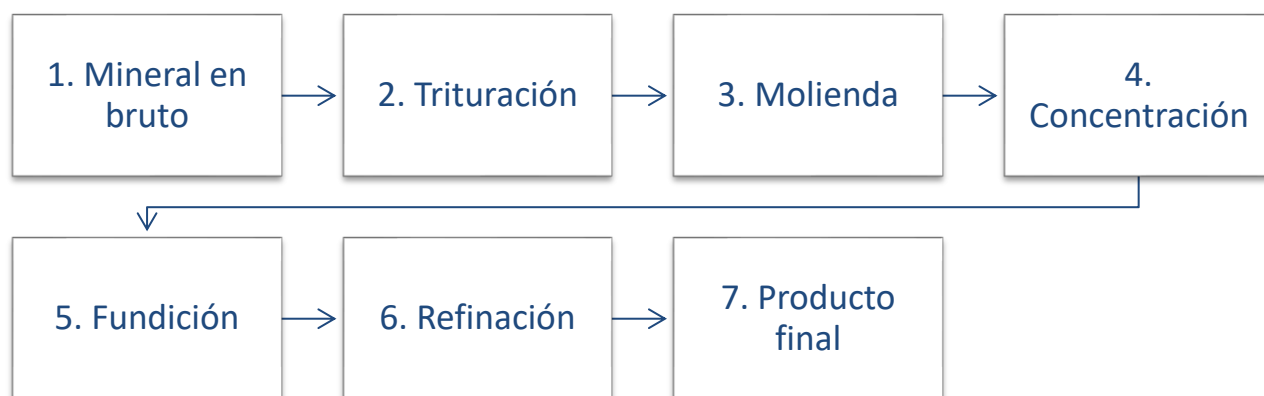


Figura 6. Diagrama de flujo de procesamiento de minerales.

d) Proyectos mineros activos en cuencas sedimentarias

En México hay 381 proyectos activos, de los cuales se contabilizaron 89 proyectos al 2024 en cuencas sedimentarias distribuidas a lo largo y ancho del país, la mayoría ubicadas en el norte del país y se encuentran en la etapa de exploración. Otros se sitúan sobre yacimientos de gran importancia con gran potencial económico, y representan a la principal actividad económica de la localidad. También, los estados se dividen en regiones mineras, debido a que la minería se ha practicado desde la época de la colonia (Servicio

Geológico Mexicano, 2021), enmarcados con base al tipo de yacimiento y la mineralización.

Cuenca de Chihuahua

La provincia de Chihuahua se encuentra en el norte de México, caracterizada por su topografía de sierras y depresiones. Las sierras son elevaciones formadas por estructuras anticlinales donde emergen rocas del período Mesozoico, mientras que las depresiones están llenas de sedimentos aluviales litológicos del Cenozoico, con capas de rocas ígneas intercaladas, con espesores que oscilan entre 1,000 y 2,000 metros (Aranda, et al. 2010). Los proyectos se encuentran ubicados dentro de las regiones mineras de, Casas Grandes, Juárez, Ojinaga, Jiménez-Camargo, Chihuahua y una porción de las regiones de Madera, Cuauhtémoc y Parral (Figura 7) presentes en la cuenca de Chihuahua y la Sierra Madre Occidental, tal y como se muestra en la Tabla 4. El potencial geológico del territorio de Chihuahua es altamente propicio para la exploración de sus recursos minerales, lo cual lo convierte en un destino muy atractivo para inversiones tanto nacionales como extranjeras (Servicio Geológico Mexicano, 2022a).

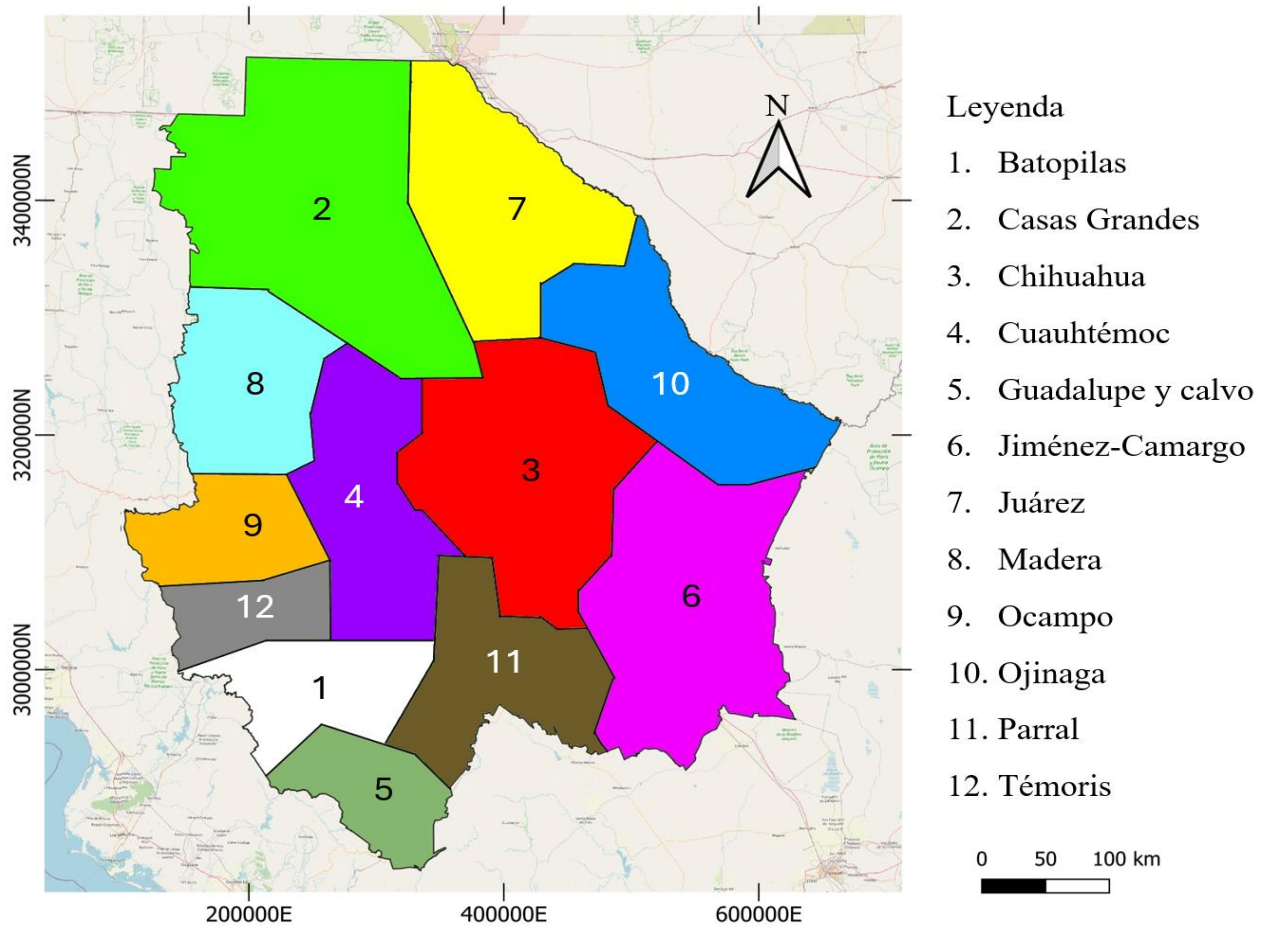


Figura 7. Regiones Mineras del estado de Chihuahua (Servicio Geológico Mexicano, 2022a)

Tabla 4. Proyectos Mineros activos en la Cuenca de Chihuahua

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Cordero	Discovery Silver Corp.	Metálico	Desarrollo	Ag, Au, Zn, Pb
Naica	Peñoles	Metálico	Explotación	Ag-Pb-Zn
Vinata	Sable Resources Ltd	Metálico	Exploración	Cu, Ag, Mn
Guigui	Reyna Silver	Metálico	Exploración	Ag, Pb, Zn
Santa Eulalia	Grupo México	Metálico	Explotación	Pb, Zn
El Potosí	Goldcorp	Metálico	Exploración	Ag, Pb, Zn
San Antonio	Great Panther Silver Ltd	Metálico	Explotación	Au, Cu
Carrizalillo	Sierra Metals Inc	Metálico	Explotación	Zn, Cu
El Cuervo	Azure Minerals Ltd	Metálico	Exploración	Cu, Zn, Mo
Mina Plomosas	Consolidated Zinc Ltd	Metálico	Explotación	Pb, Zn
Walkiria	Golden Goliath Resources	Metálico	Exploración	Pb, Zn, Ag
San Jose	Scorpio Mining Corp	Metálico	Exploración	Ag, Au
La Fortuna	Blackcomb Minerals Inc	Metálico	Exploración	Ag
Purísima	Silver Scott Mines Inc	Metálico	Exploración	Au, Ag
Mariana	Grupo de Cementos de Chihua	Metálico	Explotación	Fe
La Morita	Camex	Metálico	Explotación	Ag, Pb, Zn, Ba
Bismark	Grupo Peñoles	Metálico	Explotación	Zn, Pb, Cu
Samalayuca	Vvc Exploration	Metálico	Explotación	Cu
Camargo	Mundoro Capital Inc	Metálico	Exploración	Au, Ag, Pb, Zn
Centauro	Fresnillo Plc	Metálico	Exploración	Ag, Pb, Zn
La Negra	Minera del norte	Metálico	Exploración	Fe
La Perla	Minera del norte	Metálico	Explotación	Fe
El Berrendo	Freeport McMoran	Metálico	Exploración	Pb, Zn
Leones	Peñoles	Metálico	Exploración	Ag, Pb
Majjoma el Alamo	Camino Minerals Corp	Metálico	Exploración	Ag
Tres Marías	Tombstone exploration de México	Metálico	Exploración	Ag, Pb, Zn, Ge
Jaco	Ruedas y Alba	No metálico	Explotación	Sal
Los Charcos	Yesera Monterrey	No metálico	Explotación	Yeso
Presidio	Grupo Cementos de Chihuahua	No metálico	Explotación	Yeso
Laguna Palomas-Carrillo	Cooperativa Carrillo	No metálico	Explotación	Sal
Cerro Prieto	CORPOMIN	No metálico	Explotación	BaSO ₄

Plataforma de Coahuila

Se encuentra en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango. Es una región que se extiende en dirección oeste-noroeste a este-sureste, compuesta principalmente por rocas sedimentarias del Cretácico. La zona exhibe una deformación caracterizada por pliegues amplios y fallas normales (Aranda, et al. 2010).

En el año 2020, el estado de Coahuila contribuyó con el 1.23% del valor total de la producción minera nacional. Destacó en el primer lugar en la producción de cadmio, hierro, carbón, celestita, sílice y sulfato de magnesio. Además, se ubicó en el tercer lugar en la producción de dolomita, en el cuarto lugar en barita y fluorita, y en el quinto lugar en caolín y plomo (Servicio Geológico Mexicano, 2022b).

La Figura 8 muestra la ubicación y la Tabla 5 las características de los proyectos mineros correspondientes a la plataforma de Coahuila en donde se encuentran los distritos mineros de la región fluoritera, región de celestita, cuenca de salinas, zona de dolomita, yacimientos de yeso, yacimientos de arena sílica, Hércules, La Encantada, La Pasión, Sierra mojada, cobre estratiforme, Dolores – Reforma, El Alicante – Picacho, Jimulco, Carrizalejo, El Fuste – La Mula y El Volcán.

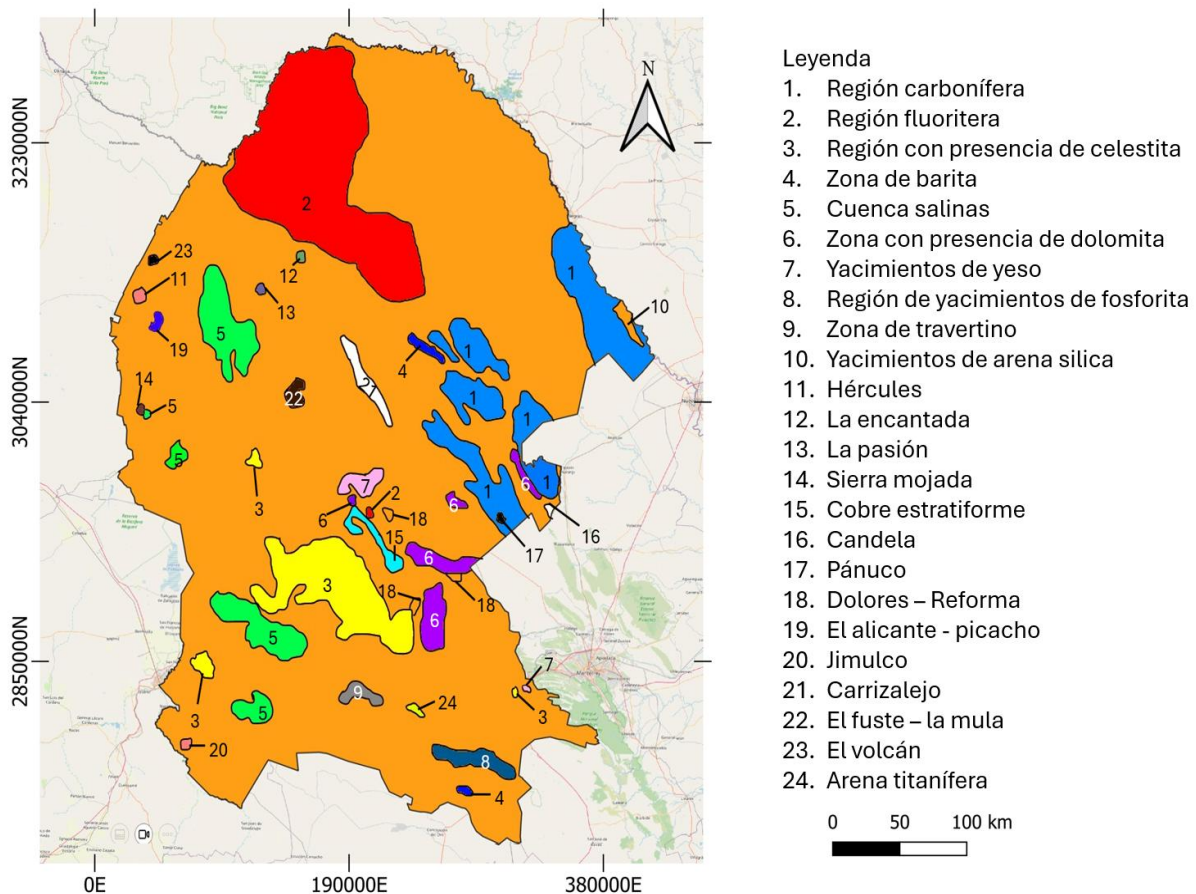


Figura 8. Regiones Mineras del estado de Coahuila (Servicio Geológico Mexicano, 2022b).

Tabla 5. Proyectos Mineros activos en la Plataforma de Coahuila.

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Malabrigo	Mirasa	No metálico	Explotación	F
Aguachile	Minera Muzquiz	No metálico	Explotación	F
Puerto Rico	Dsvmetals	Metálico	Exploración	Ag, Zn
Hércules	Altos Hornos de México	Metálico	Explotación	Fe
La Kika	Dsvmetals	Metálico	Exploración	Zn, Ag
La Sabina - Buena Vista	Flourita de México	No metálico	Exploración	F
La Encantada	First Majestic Silver	Metálico	Explotación	Ag
Minerva	Discovery metals	Metálico	Exploración	Pb, Zn
El Ángel del Desierto	Minera los ángeles del desierto	Metálico	Exploración	Pb, Zn
La Morena	Stockport exploration	Metálico	Exploración	Cu, Zn, Ag
Vicki	Almadex minerals Ltd	Metálico	Exploración	Ag, Cu, Pb, Zn
Cenzontle	Almadex minerals Ltd	Metálico	Exploración	Au, Ag
Sierra Mojada	Silver Bull Inc	Metálico	Desarrollo	Cu, Zn, Pb
Mina Laguna del Rey	Magnelec	Metálico	Explotación	Na, Mg
Sierra Ramirez	Mag Silver Corp	Metálico	Exploración	Au, Ag
Madera	Philippine metals inc	Metálico	Exploración	Cu
Cuatro Ciénegas	Philippine metals inc	Metálico	Desarrollo	Ag, Cu

Plataforma de Actopan - Valles San Luis

Localizada en los estados de Nuevo León y San Luis Potosí, esta región se caracteriza por ser una zona plegada con fallas, compuesta por una variedad de rocas sedimentarias que abarcan desde el Paleozoico hasta el Cretácico, incluyendo el Triásico y el Jurásico (Aranda, et al. 2010).

La Plataforma sólo cubre los distritos mineros de Villa Hidalgo, Guaxcamá, Guadalcázar, Zaragoza y la Región Ciudad Valles, en los cuales se encuentran yacimientos de yeso, oro, plata y zinc (Figura 9), dichos proyectos se enlistan en la Tabla 6.

Tabla 6. Proyectos Mineros activos en la Plataforma Actopan – Valles San Luis.

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Vía Lactea	Triturados de Yeso	No metálico	Explotación	Yeso
Guadalcázar-Dolores-Calaminas	Millrock Resources Inc	Metálico	Exploración	Au, Ag, Zn
Guadalcázar	Vane Minerals Group	Metálico	Exploración	Ag, Au
Lajas	Almaden Minerals Ltd	Metálico	Exploración	Au, Ag
Rafles	Kensus	No metálico	Explotación	Yeso
Don Pedro	Cia. Usg	No metálico	Explotación	Yeso

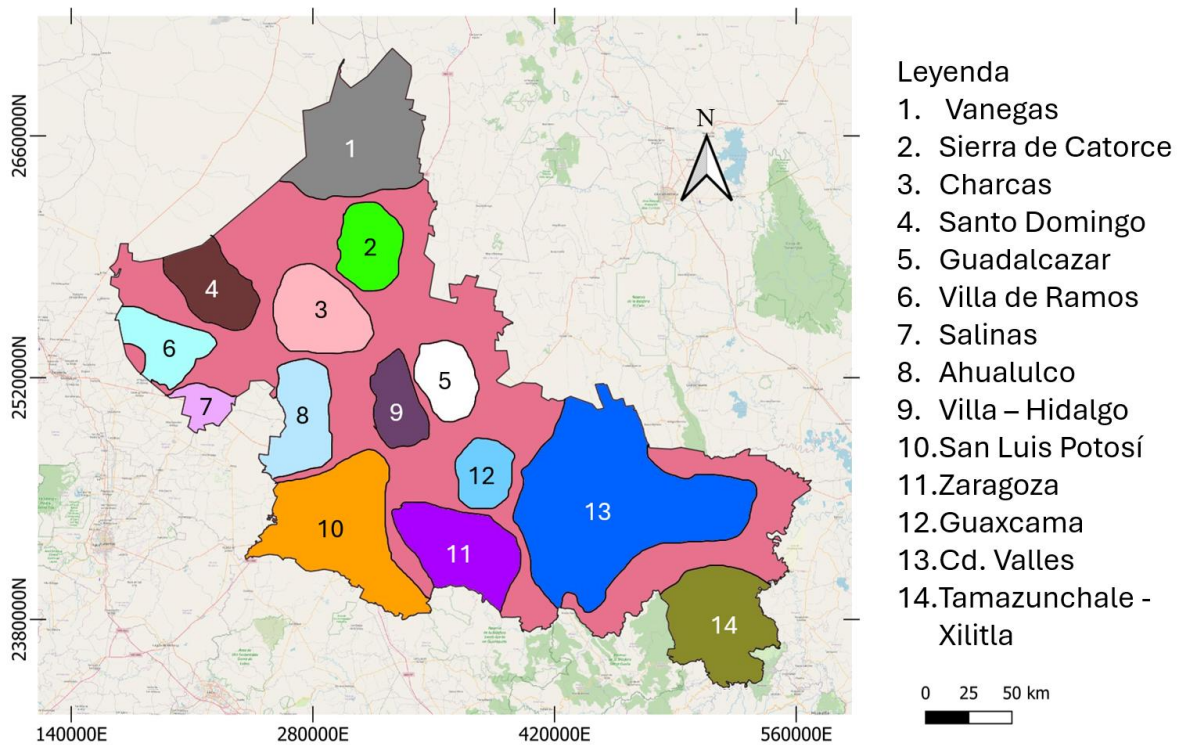


Figura 9. Regiones Mineras del estado de San Luis Potosí (Servicio Geológico Mexicano, 2022c).

Cuenca de Veracruz

Se encuentra en los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca. Se trata de una antefosa situada en el extremo del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental, y costa afuera en la plataforma continental del Golfo de México, limitada por el Cinturón extendido Quetzalcóatl y el Complejo Volcánico de los Tuxtlas (Aranda, et al. 2010). En cuanto a los proyectos mineros, estos se localizan únicamente en las regiones mineras de Zonajáltipan y la región minera de Azufre del Istmo (Servicio Geológico Mexicano, 2022d), donde se encuentran explotando azufre y sal (Figura 10), los proyectos se enlistan en la Tabla 7.

Tabla 7. Proyectos mineros activos en la Cuenca de Veracruz

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Jaltipan	Mexichem Fluor	Metálico	Explotación	Azufre
PMV	Petroquímica Mexicana de Vinilo	No metálico	Explotación	Sal

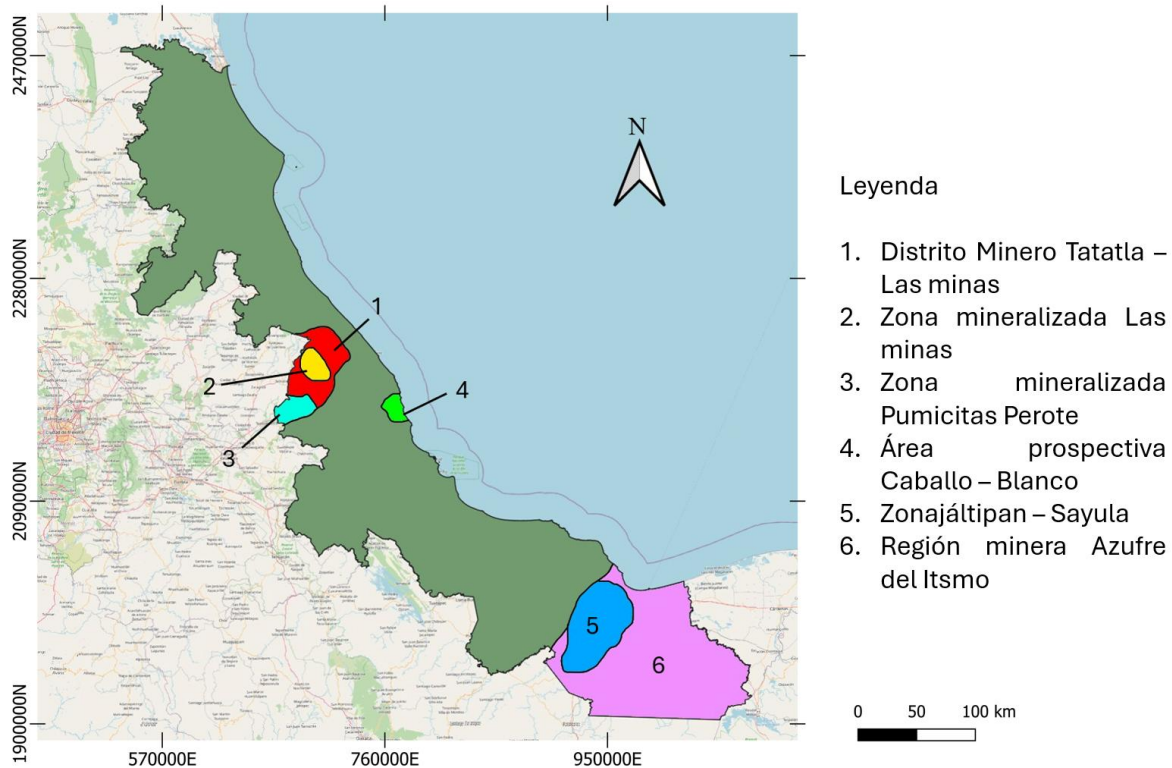


Figura 10. Regiones Mineras del estado de Veracruz (Servicio Geológico Mexicano 2022d).

Cuenca de Burgos

Esta cuenca abarca principalmente el estado de Tamaulipas y la parte oriental de Nuevo León. Al norte, se extiende hacia el territorio de Estados Unidos, y al este, se prolonga hacia la plataforma continental del Golfo de México (Aranda, et al. 2010).

Se desconoce el inicio exacto de las primeras explotaciones de minerales metálicos en la entidad y sus ubicaciones específicas. No obstante, la región cuenta con varias áreas mineras destacadas, como Miquihuana (Ag, Pb, Zn), Sierra de Tamaulipas (tierras raras, Au, Cu), Jiménez (Au, Cu), San Carlos – Cruillas (Ag, Pb, Zn) y Llera (Pb, Zn, barita). Además, es significativa la extracción de minerales no metálicos como arena, azufre, basalto, caliza, grava y sal, entre otros. Únicamente se encuentra un proyecto activo dentro de la cuenca y se ubica en la región minera de la Sierra de Tamaulipas (Figura 11), donde se encuentran explorando un potencial yacimiento de oro, plata, zinc y plomo (Servicio Geológico Mexicano, 2022e). Dicho proyecto se enlista en la Tabla 8.

Tabla 8. Proyectos Mineros activos en la cuenca de Burgos

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
El Milagro	Cobalt Solution Inc.	Metálico	Exploración	Au, Ag, Pb, Zn

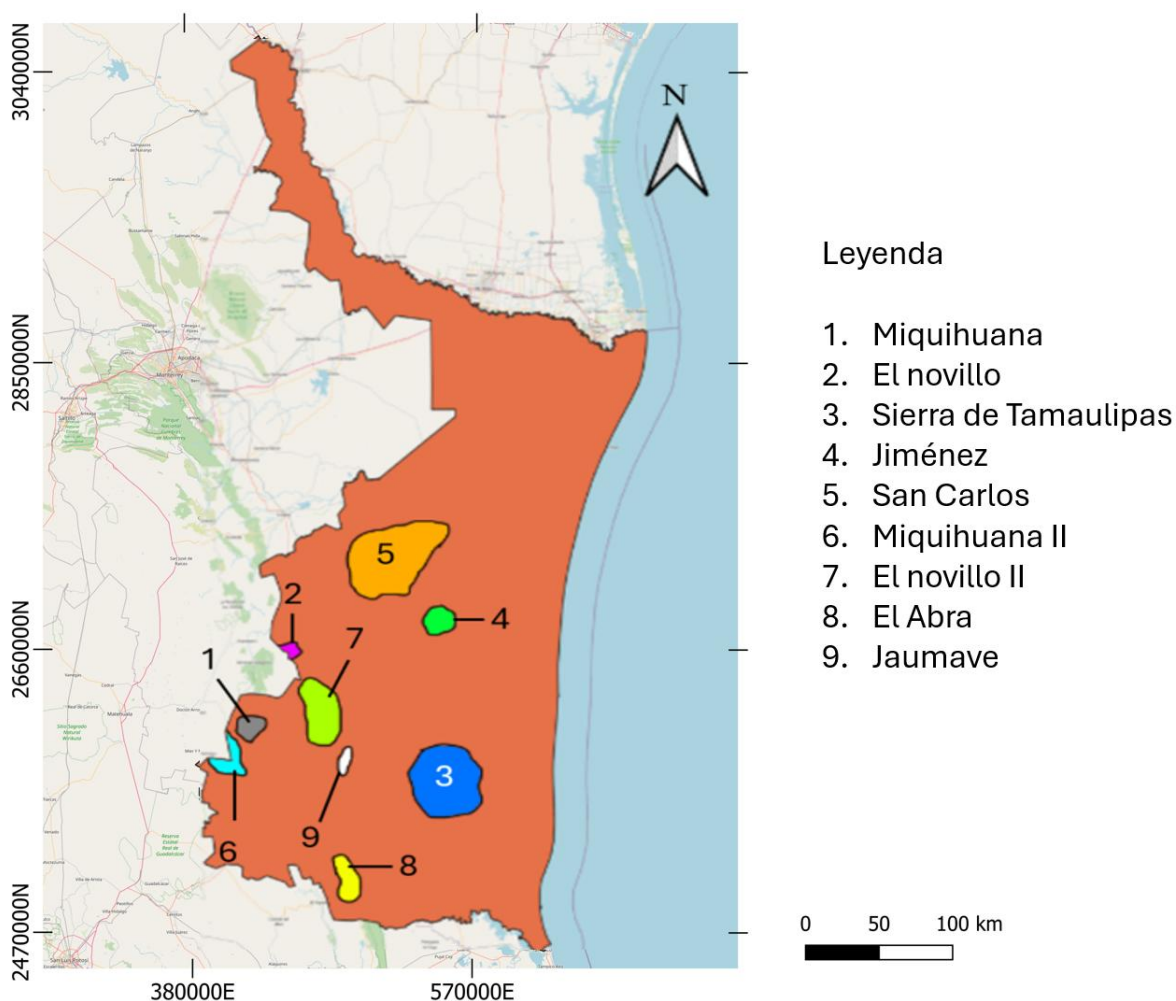


Figura 11. Regiones Mineras del estado de Tamaulipas (Servicio Geológico Mexicano, 2022e).

Cuenca Chiapas – Tabasco

Se ubica en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, y extendiéndose hasta Guatemala, esta provincia se caracteriza por una serie de estructuras anticlinales orientadas de noroeste a sureste (Petróleos Mexicanos, 2010). En Chiapas se encuentran los distritos mineros de Simojovel de Allende y Santa Fe-La Victoria, las zonas mineralizadas de Simojovel, Santa Fe-La Victoria, Pichucalco, Ostucán, Tecpatán-

Tenejapa, Francisco I. Madero, La Jáquimas, Motozintla, Tolimán, Chicomuselo, La Libertad, Mapastepec, Arriaga, Tenejapa, Chenalhó y Comitán de Domínguez. Pero los proyectos activos sólo se encuentran en la región minera de Pichucalco – Tecpatán – Ixhuatán (Figura 12) y uno que se encuentra en explotación mientras los otros dos se encuentran en exploración (Servicio Geológico Mexicano, 2022f). Dichos proyectos se enlistan en la Tabla 9.

Tabla 9. Proyectos Mineros activos en la Cuenca Chiapas – Tabasco

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Santa Fe	Minera Frisco	Metálico	Explotación	Au, Ag, Pb
12 concesiones	Fronteer Development	Metálico	Exploración	Au, Ag, Cu
Ixhuatan	Fortune Bay Corp	Metálico	Exploración	Au, Ag, Cu, Mo

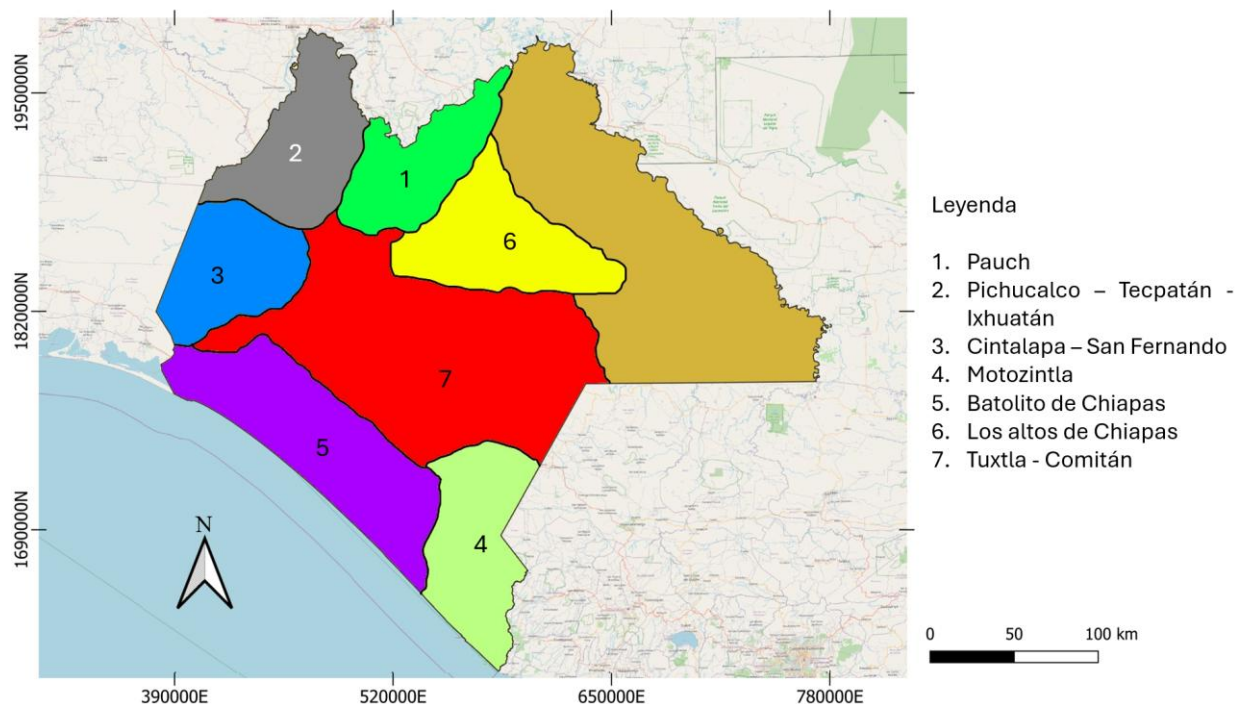


Figura 12. Regiones Mineras del estado de Chiapas (Servicio Geológico Mexicano, 2022f).

Golfo de California

Se encuentra en los límites entre los estados de Sonora y Baja California. Está compuesta por rocas sedimentarias del Neógeno que forman pliegues y fallas del Mioceno, así como por rocas volcánicas de las placas de Norteamérica y del Pacífico (Aranda, et al. 2010). Existe necesidad de fortalecer el conocimiento geológico-minero, geoquímico y geofísico, esfuerzo que el Servicio Geológico Mexicano está llevando a cabo actualmente para apoyar las actividades de exploración (Servicio Geológico Mexicano, 2022g).

Sólo existen 3 proyectos activos, dos de ellos ubicados en la región minera de Sierra Pinta en el Estado de California, “Adair” donde se explora un yacimiento de Trona (evaporita) y “San Felipe” donde se explora un yacimiento de oro y plata (Figuras 13). Dichos proyectos se enlistan en la Tabla 10. El más interesante es el proyecto ubicado en la región minera de Caborca “Planta geotérmica Cerro Prieto” de Pan American Lithium, donde se estudia el reprocesamiento de una salmuera residual, producto de la operación de la planta de generación geotérmica Cerro Prieto, perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad, CFE (Secretaría de Economía, 2018). La salmuera se concentra en una laguna de evaporación de 15 kilómetros cuadrados, con capacidad de 30 millones de metros cúbicos de almacenamiento. La salmuera es el desecho del proceso de extracción de vapor endógeno para la generación de energía eléctrica en la planta geotérmica Cerro Prieto, que, a diferencia de sus similares del Valle Imperial, no es necesario extraer el litio en un proceso de minería, ya que prácticamente se encuentra sobre la superficie (Secretaría de Economía, 2018).

Tabla 10. Proyectos Mineros activos en el Golfo de California

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Adair	Minerales para la industria	No metálico	Exploración	Trona (evaporita)
Planta Geotérmica Cerro Prieto	Pan American Lithium	Metálico	Exploración	Litio
San Felipe	Minera San Felipe	Metálico	Exploración	Ag, Au

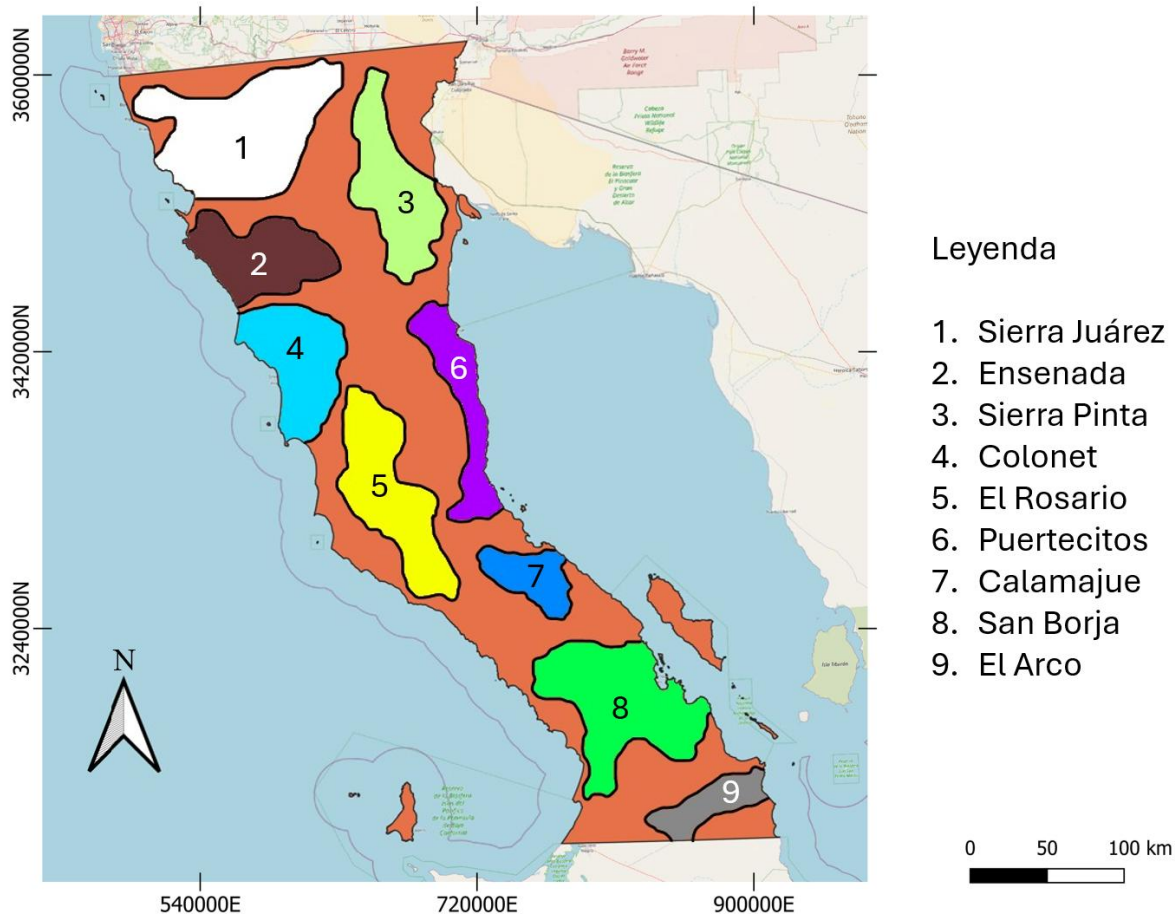


Figura 13. Regiones Mineras del estado de Baja California (Servicio Geológico Mexicano, 2022g).

Vizcaíno-La Purísima

Se localiza en los estados de Baja California y Baja California Sur. Compuesta por rocas sedimentarias marinas del Cretácico, rocas vulcano-sedimentarias mesozoicas del complejo de subducción y rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno, que presentan pliegues y fallas. La Cuenca Vizcaíno-La Purísima abarca las regiones mineras de Guerrero Negro y Sierra de San Francisco (Figura 15), éste último cuenta con un yacimiento de clase mundial (Servicio Geológico Mexicano, 2022h). El yacimiento El Arco se encuentra en la región minera de Sierra de San Francisco y se trata de sulfuros de cobre y molibdeno, actualmente se encuentra en preparación para su explotación. Los proyectos se enlistan en la Tabla 11.

Tabla 11. Proyectos Mineros activos en la Cuenca Vizcaíno-La Purísima

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
El Arco	Southern Copper	Metálico	Desarrollo	Cobre
Guerrero Negro	Mitsubishi Corporation	No metálico	Explotación	Sal

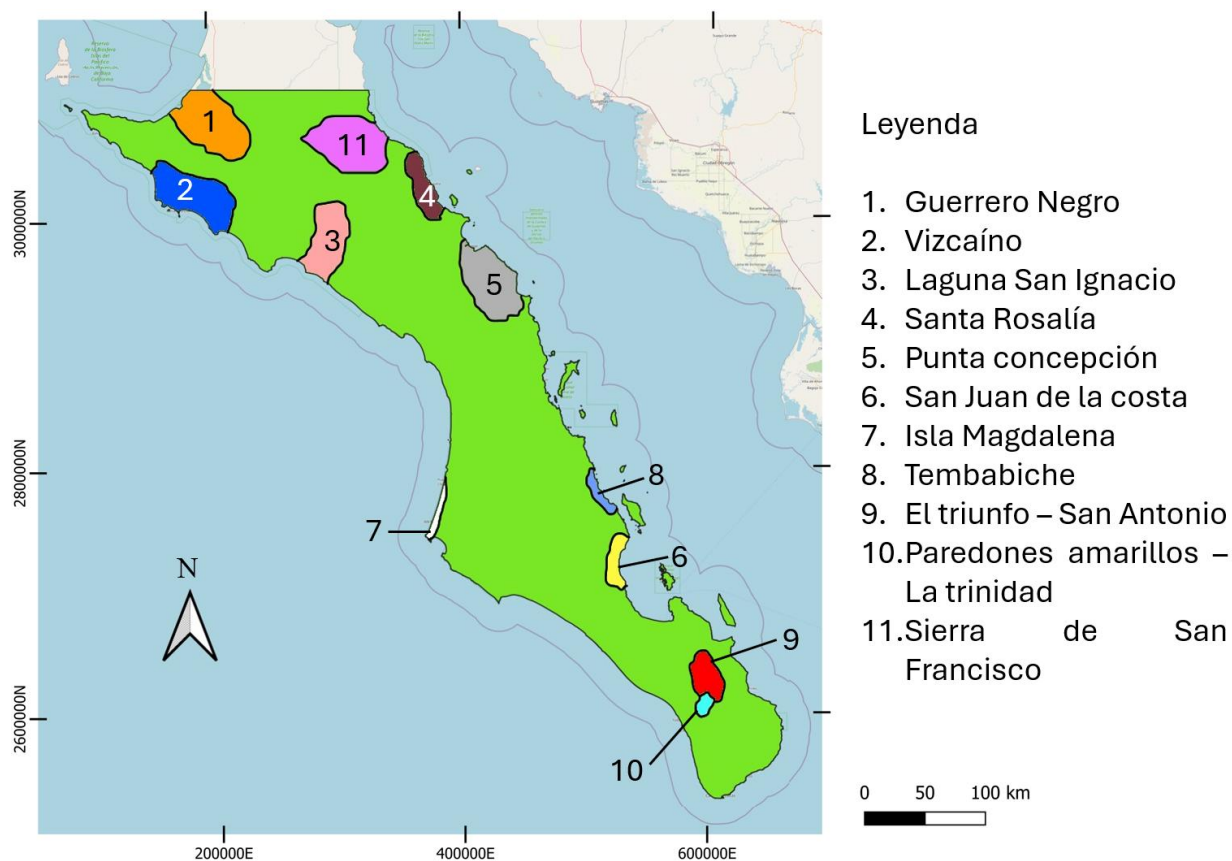


Figura 14. Regiones Mineras del estado de Baja California Sur (Servicio Geológico Mexicano, 2022h).

Morelos-Guerrero

Situada en Guerrero y Morelos, esta región está compuesta por estructuras alargadas orientadas de norte a sur, formadas por rocas sedimentarias marinas del Cretácico y Jurásico, rocas continentales del Paleógeno-Neógeno (Aranda, et al. 2010). Desde la época de la conquista, el estado de Guerrero ha sido relevante en la producción de minerales metálicos, con la primera mina abierta en Taxco (Servicio Geológico Mexicano, 2022i). En la última década, la exploración en el estado se ha incrementado significativamente, lo que ha llevado al descubrimiento de cuerpos mineralizados como

Los Filos-El Bermejál en el municipio de Eduardo Neri, Campo Morado en el municipio de Arcelia, entre otros (Servicio Geológico Mexicano, 2022i). Con los Filos - Bermejál considerado como yacimiento de clase mundial, el cual corresponde a un yacimiento tipo Skarn de oro y plata, y que actualmente se encuentra en producción.

La cuenca abarca las regiones mineras de Arcelia-Teloloapan, Buenavista del Cuellar, Mezcala y la Dicha en el estado de Guerrero, que en su conjunto abarcan más de la mitad de los proyectos mineros en el estado (Figura 16). Los proyectos se enlistan en la Tabla 12.

Tabla 12. Proyectos Mineros activos en la Cuenca Morelos – Guerrero

Nombre del proyecto	Compañía	Tipo de yacimiento	Fase donde se encuentra	Elementos de interés
Mercury mines	Alamos gold	Metálico	Exploración	Hg, Ag, Sb, As
Taxco	Southern Copper Corporation	Metálico	Exploración	Cu, Au, Pb, Ag
Ana Paula	Argonaut gold	Metálico	Desarrollo	Au
Erika	Aldamen Minerals Limited	Metálico	Exploración	Au
El limón - Guajes	Torex gold resources	Metálico	Explotación	Au, Ag, Cu
Vianey	Musgrove minerals corp	Metálico	Exploración	Ag, Pb, Zn
Media luna	Torex gold resources	Metálico	Desarrollo	Au
La Magnetita	Agnico eagle mine	Metálico	Exploración	Au
Nukay	Goldcorp	Metálico	Explotación	Au
Los fillos - Bermejál	Leagold mining corporation	Metálico	Explotación	Au, Ag
Biricu	Alamos gold	Metálico	Exploración	Au, Ag
Tajo Bermejál	Leagold mining corporation	Metálico	Explotación	Au, Ag
Guadalupe	Leagold mining corporation	Metálico	Explotación	Au, Ag
Xochipala	Oroco resources Corp	Metálico	Exploración	Au
Jackie	Minaurum Gold	Metálico	Exploración	Au
Salvador	Oroco resources Corp	Metálico	Exploración	Au
Cuervo	Leagold mining corporation	Metálico	Exploración	Au, Ag

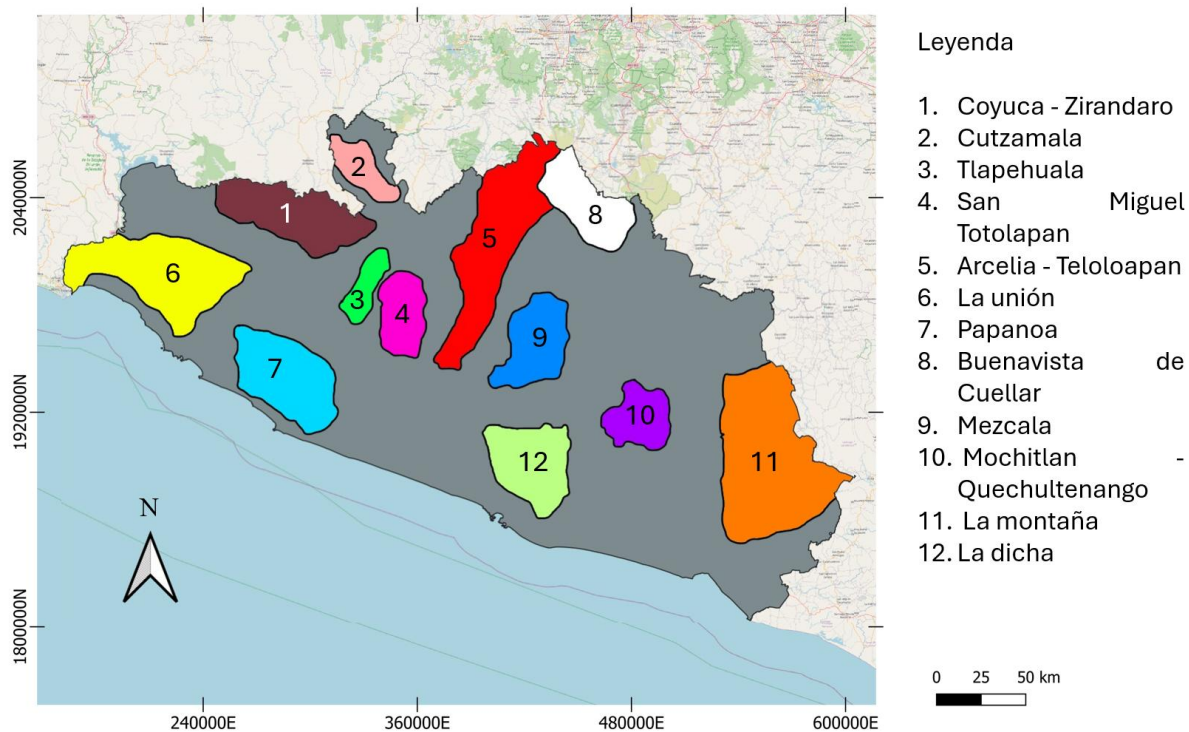


Figura 15. Regiones Mineras del estado de Guerrero (Servicio Geológico Mexicano, 2022i).

e) Desarrollos y su impacto económico

La viabilidad económica de la explotación minera está determinada por varios factores, incluyendo la cantidad y precio del metal, así como los costos asociados con la extracción, procesamiento, transporte y venta del producto. Estos costos están influenciados en parte por la ubicación geográfica del depósito. La rentabilidad está determinada por la cantidad y el valor del metal.

La formación de los yacimientos minerales es un proceso complejo y diverso. Hay una amplia variedad de tipos de yacimientos, cada uno con su propia composición mineralógica, estructura, tamaño y otras características distintivas. Dos procesos o más pueden haberse combinado, ya sea simultáneamente o en épocas diferentes, en el origen de muchos yacimientos. Además, es común que múltiples procesos contribuyan a la formación de un solo depósito mineral, por lo tanto, la clasificación debe ser flexible.

Los depósitos minerales pueden categorizarse según los procesos que los originan. Se pueden hacer generalizaciones de importancia económica para cada grupo, de acuerdo con la forma en que se presenta un depósito representativo puede mostrar áreas propicias

para la búsqueda de depósitos similares aún no descubiertos. Un ejemplo de ello se presenta en las regiones mineras que suelen compartir características en los yacimientos que se encuentran dentro de una región, se puede sugerir que la mineralogía, distribución y continuidad es similar en cada yacimiento.

El sector minero representa una inversión basada en oportunidades que conlleva un alto grado de riesgo en cada etapa de las actividades, éstos están determinados por incertidumbres geológicas, la competencia técnica, la demanda comercial, la viabilidad económica y, en última instancia, la estabilidad política y la disposición del Gobierno (Haldar, 2020). Es crucial minimizar los riesgos generando información adecuada en las diferentes fases de las actividades y realizando análisis económicos críticos de dicha información para proteger la inversión.

En México, la minería es un sector valioso de la economía nacional, abastece a 70 sectores productivos. Además, es un pilar para el bienestar y calidad de vida de 696 comunidades ubicadas en 212 municipios del país, en el año 2022 tuvo una participación del 2.46% en el PIB nacional (Cámara Minera de México, 2023). A nivel internacional, México se ubica entre las primeras 10 posiciones en la producción de 16 diferentes minerales. La industria minera, además de contribuir a la creación de empleos, generar bienestar y desarrollo, atraer inversiones y contribuir al pago de impuestos, abastece de materias primas a toda la cadena productiva nacional. En 2022, cinco elementos aportaron 86.3% del total de la producción minero-metalúrgica nacional, estos son (Cámara Minera de México, 2023): oro (30.6%), cobre (27.2%), plata (17.6%), zinc (7.1%) y hierro (3.8%). Por ello, las inversiones en proyectos mineros que estaban en desarrollo, en construcción y que se iniciaron en 2022, con presupuestos previamente aprobados, así como en las operaciones ya existentes, alcanzaron un total de 5 mil 265 millones de dólares; desglosando la información a continuación (Tabla 13).

Tabla 13. Inversiones para el sector Minero en 2022 (Cámara Minera de México, 2023).

Actividad	Cantidad (Millones de dólares)
Exploración	422.0
Expansión de Proyectos	632.0
Nuevos Proyectos	776.0
Capacitación y Productividad	63.4
Adquisición de Equipo	707.1
Medio Ambiente	292.3
Seguridad y Salud en el Trabajo	145.9
Seguridad (privada)	90.1
Desarrollo Comunitario	68.8
Innovación y Desarrollo Tecnológico	39.6
Energías Limpias	41.3
Inversión Inicial en Comunidades	31.0
Mantenimiento	883.7
Otros	401.1
Subtotal	4594.7
Exploración	150.0
Activos	520.0
Subtotal	670.0
Total	5264.7

Con respecto a la Inversión Extranjera Directa (IED), en 2022, se recibieron a nivel nacional 35 mil 292 millones de dólares, un 12% más que el año anterior; el rubro que más financiamiento obtuvo fue el de nuevas inversiones, seguido por la reinversión de utilidades que no fueron repatriadas. Por sectores económicos, los flujos de IED se concentraron principalmente en las industrias manufactureras con un 36%, seguidas por el sector de transportes, correos y almacenamiento con un 15.1%, y en tercer lugar los servicios financieros y de seguros con un 13.1%. La minería ocupó el sexto lugar, con una participación del 4.5% (Cámara Minera de México, 2023). Al concluir el año, el componente minero alcanzó los mil 603 millones de dólares. Los servicios relacionados con la minería pasaron a 603.8 millones de dólares en 2022; mientras que, el subsector de petróleo y gas atrajo 190 millones de dólares, tal como se muestra a continuación (Tabla 14).

Tabla 14. Inversión Extranjera Directa (IED) en componente minería (Cámara Minera de México, 2023).

Subsectores	Cantidad (Millones de dólares)
Petróleo y gas	189.9
Minería de minerales metálicos	809.7
Servicios relacionados con la minería	603.8
Total	1603.4

En los últimos años se ha experimentado una baja en inversiones derivada de las condiciones de no otorgamiento de nuevas concesiones y al retraso de permisos, sobre todo en materia ambiental (Cámara Minera de México, 2023).

En cuanto al empleo, el sector minero contabilizó 417 mil 380 puestos de trabajo en diciembre de 2022, lo que significó un aumento del 2.8% en comparación con el mismo mes del año anterior. Esto se tradujo en 11 mil 201 nuevos empleos, con remuneraciones un 33% superiores al promedio nacional (Figura 16).

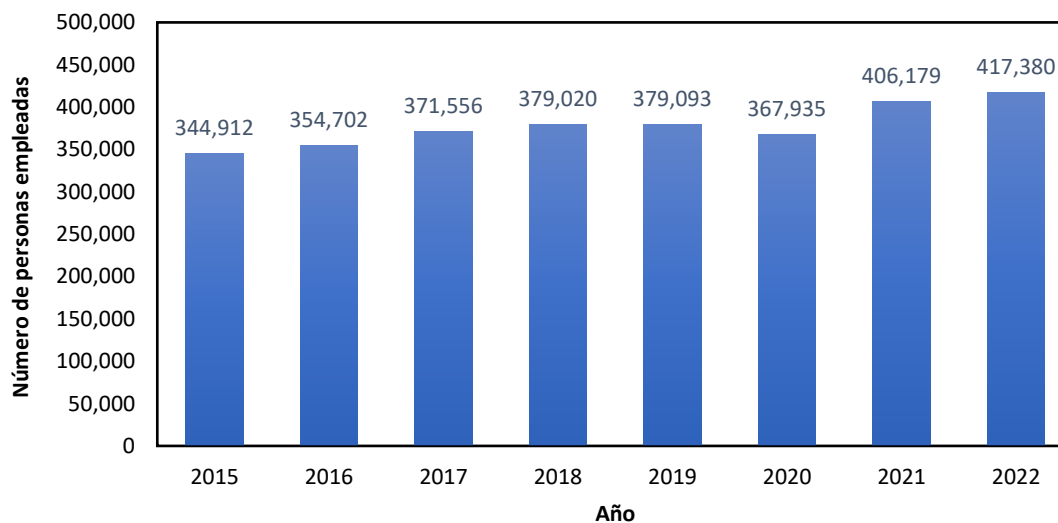


Figura 16. Número de personas empleadas en el sector minero-metalúrgico 2015-2022 (Cámara Minera de México, 2023).

En cuanto al salario, según la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo STPS-INEGI, publicada por el Observatorio Laboral, en 2022 el ingreso promedio mensual de los profesionistas en México fue de 13 mil 342 pesos. La carrera de minería y extracción, que en 2021 fue la tercera mejor pagada, cayó al undécimo lugar en 2022, con un ingreso

promedio de 16 mil 332 pesos (Tabla 15), lo que aún representa un 22.4% por encima del promedio nacional.

Tabla 15. Carreras mejor pagadas en 2022 (Cámara Minera de México, 2023).

Carrera	Ingreso Promedio Mensual (pesos)
Servicios de transporte	27,729
Finanzas, banca y seguros	22,189
Salud pública	18,898
Medicina	18,589
Tecnología educativa	17,675
Seguridad pública	17,467
Estadística	17,232
Humanidades, programas multidisciplinarios o generales	16,926
Ciencias de la Tierra y de la atmósfera	16,742
Tecnologías de la información y la comunicación	16,485
Minería y extracción	16,332

Estas cifras reflejan la importancia económica de la minería a nivel nacional, siendo parte de estas cifras los proyectos ubicados en cuencas sedimentarias. Los datos económicos exactos de cada proyecto no se encuentran disponibles, sin embargo, la cantidad de proyectos en exploración resalta el potencial económico de los yacimientos ubicados en cuencas sedimentarias y su potencial de albergar algunos de los “minerales esenciales para la transición energética”.

En un contexto donde es urgente combatir el calentamiento global, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y cambiar el sistema energético basado en combustibles fósiles, las energías renovables han ganado impulso en las últimas décadas. Aunque las energías limpias pueden contribuir a la lucha contra el cambio climático, es importante considerar otras implicaciones. Las energías renovables requieren minerales críticos cuya extracción requiere la implementación de un proceso de extracción, donde se debe contar con varias licencias para evitar conflictos socioambientales (Olivera, et al. 2020).

A inicios del siglo XXI, el sector energético constituía una pequeña fracción de la demanda total de minerales. Desde entonces, con el progreso de la transición energética, las energías renovables han incrementado esta demanda. En el futuro cercano, la oferta y

demanda de minerales críticos dependerán de los minerales necesarios para las tecnologías de energías renovables y de almacenamiento de energía. La Tabla 16 detalla en qué tipos de tecnologías se pueden utilizar algunos de estos minerales (Olivera, et al. 2020).

Tabla 16. Minerales requeridos para la transición energética (Cámara Minera de México, 2023).

Tipo de Mineral	Tipo de Tecnología						
	Eólica	Solar	Solar térmica	Hidroeléctrica	Geotérmica	Almacenamiento de energía	Vehículos eléctricos
Aluminio	X	X				X	
Bauxita y alumina	X	X				X	X
Bario	X						
Boro	X						
Cadmio		X					
Cobalto	X					X	X
Cobre	X	X		X	X	X	X
Cromo	X			X	X	X	
Estaño		X					
Galio		X					
Germanio		X					
Grafito						X	X
Indio		X				X	
Litio			X				
Manganeso	X	X		X	X	X	X
Molibdeno	X	X		X	X		X
Níquel	X	X		X	X	X	X
Plata		X	X				
Plomo	X	X			X	X	
Selenio		X					
Silicio		X					
Telurio		X					
Tierras raras	X					X	X
Titanio				X	X		X
Vanadio						X	
Zinc	X	X		X		X	

En las próximas décadas, la demanda de ciertos minerales podría superar las reservas actuales. Por lo tanto, no se puede asegurar un escenario con 100% de energía renovable para las décadas de 2050 a 2060. La tecnología solar fotovoltaica y la tecnología solar de concentración serán gravemente afectadas por la escasez de minerales. La tecnología eólica y el almacenamiento de energía también enfrentarán impactos, pero de manera

parcial (Olivera, et al. 2020), de ahí la necesidad de seguir encontrando yacimientos de minerales esenciales.

Existen varios proyectos dentro de las cuencas sedimentarias que se encuentran explorando o explotando algunos de estos minerales, se tienen yacimientos de: plata, plomo, zinc, bario, cobre, manganeso, oro, molibdeno, germanio y litio. De los minerales enlistados, sin duda el más relevante a nivel nacional ha sido el litio. El litio es uno de los recursos con mayor interés a nivel global, debido a su papel crítico para la producción de baterías para vehículos eléctricos y, en consecuencia, en la transición hacia la electromovilidad (Obaya, et al. 2020). Por su propiedad reactiva, el litio no se encuentra naturalmente en su forma metálica pura, sino mezclado en minerales y sales, donde se extrae para ser transformado en sus compuestos y derivados. La información disponible sobre la cantidad y calidad de los yacimientos descubiertos y en exploración sigue siendo insuficiente, debido a los procesos de concesión y a la debilidad estadística que México siempre ha tenido en las actividades extractivas (Azamar, 2018). A principios de 2020, surgió controversia debido a las declaraciones de Víctor Toledo, entonces titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), al participar en un foro virtual sobre el futuro de América Latina, donde sugirió la posibilidad de nacionalizar las minas de litio en el país debido a la creciente importancia de este mineral a nivel mundial (Méndez, 2020). Sin embargo, se enfrenta a las dificultades tecnológicas que presentan los yacimientos de litio, lo que en parte explica que el origen de los principales inversores en proyectos de litio en México son todos extranjeros (Azamar, 2022).

Resulta evidente que, para un país como México, la idea de nacionalizar un sector altamente especializado es prácticamente imposible, ya que implicaría replicar la tecnología y la capacidad productiva de los grandes actores internacionales y requeriría invertir cientos de miles de millones de dólares en su desarrollo. Esta propuesta surge con el objetivo de fomentar el desarrollo de una industria pública o público-privada controlada por el Estado para asegurar el uso y explotación de este recurso en beneficio nacional. Sin embargo, el intento de fortalecer la minería cuestiona el interés en proteger el bienestar colectivo, debido a los significativos impactos negativos que ha tenido en el territorio nacional (Azamar, 2022). A pesar de ello, en abril de 2022 México aprobó la reforma a la

Ley Minera, con el objetivo de proteger la soberanía energética del país, que permite la nacionalización del sector del litio, considerado de especial importancia estratégica. Aunque esta medida es efectiva para limitar la participación extranjera en la minería y proteger los recursos nacionales, también plantea riesgos de saturar los procesos institucionales, lo que dificulta el acceso a la tecnología extractiva necesaria y reducir la inversión extranjera, lo que en conjunto podría comprometer la estabilidad y el desarrollo económico del país (Rodríguez, 2023). Tras la entrada en vigor de la reforma de la Ley Minera, México creó un organismo nacional descentralizado para administrar el sector del litio dependiente de la Secretaría de Energía, LitoMx o Litio para México es la empresa pública encargada de gestionar el capital destinado a esta actividad y de supervisar todas las operaciones de exploración actuales. Es crucial buscar medidas eficaces para reformar la rendición de cuentas, el sistema de justicia y el excesivo ejercicio de autoridad (Rodríguez, 2023).

V. Desafíos a futuro

La industria minera global está en una fase de contención de costos y gestión rigurosa del capital, lo que obliga a las compañías a desarrollar estrategias para aumentar su productividad frente a la continua reducción de presupuestos, disminución de la concentración de metales en los yacimientos y aumento del consumo energético, entre otros factores. Esto requiere la automatización, monitoreo, control y gestión de los procesos mineros, donde las tecnologías juegan un papel fundamental como facilitadoras de esta estrategia. También, existen normas y directrices que buscan proteger a los inversionistas al garantizar la precisión y transparencia de la información científica y técnica relacionada con las reservas y recursos minerales de las compañías, como el Instrumento Nacional (NI) 43-101 de los administradores de Valores de Canadá (Canadian Securities Administrators) y el formulario 43-101F1, aplicable a proyectos que son propiedad de empresas o están siendo explorados por ellas, siempre que los resultados sean reportados en los mercados de valores de Canadá.

Uno de los grandes desafíos del sector minero es desarrollar una política pública que permita a México aprovechar su potencial minero de manera sostenible, proporcionando certidumbre y recuperando la competitividad internacional. Esta política debe fomentar una industria responsable y comprometida con el bienestar social, la protección del medio ambiente, y que impulse la reactivación económica tan necesaria en el país (Cámara Minera de México, 2023). Para fomentar la sostenibilidad, el sector debe seguir colaborando en el fortalecimiento de la normativa ambiental y participando en procesos voluntarios de autorregulación, como el Programa de Industria Limpia de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, además de cumplir con otros estándares y certificaciones nacionales e internacionales que promuevan el desarrollo sostenible del sector.

Para que una mina aporte al desarrollo sostenible, es esencial considerar diversos aspectos, tales como una planificación más efectiva, el uso de herramientas robustas de gestión ambiental y tecnologías más limpias, la responsabilidad social extendida a todos los grupos de interés, la formación de alianzas para la sostenibilidad y la mejora en la

capacitación (Suppen, et al. 2005). Una mina debe reducir los impactos ambientales mediante una gestión ambiental eficiente para contribuir al desarrollo sostenible. Un sistema de gestión ambiental (SGA) es un modelo de mejora continua que ayuda a una organización a alcanzar sus objetivos ambientales y a cumplir con la normativa medioambiental. Permite gestionar sus responsabilidades ambientales de manera efectiva y eficiente. Se reconocen tres beneficios fundamentales al implementar un SGA: 1) El personal está mejor capacitado para examinar sistemáticamente todos los procesos y actividades industriales en cuanto a su impacto potencial en el medio ambiente, identificar los requisitos legales, evaluar alternativas y costos ocultos; 2) Un SGA generalmente se amortiza a largo plazo gracias a la reducción de costos operativos y a la mejora de la eficiencia; 3) La implementación de un SGA en minería permite que una operación planifique de manera proactiva las cuestiones medioambientales (Hilson, et al. 2002).

El otorgamiento de nuevas concesiones, conforme al nuevo esquema establecido por la ley, es esencial para seguir desarrollando una industria responsable, asegurar el abastecimiento y el bienestar de las futuras generaciones, y garantizar que los yacimientos minerales de la Nación continúen contribuyendo al crecimiento y la prosperidad de México y su población (Cámara Minera de México, 2023). Para que la industria minera pueda alcanzar su máximo potencial y continuar contribuyendo al desarrollo económico y al bienestar de las comunidades mineras, es crucial garantizar la certidumbre jurídica. Por esta razón, el sector minero mexicano debe seguir dialogando y colaborando con las autoridades federales, ofreciendo su experiencia y conocimiento para fortalecer el sector en el desarrollo de normas y reglamentos pertinentes, con el objetivo de generar seguridad para el desarrollo sostenible de la minería. Es fundamental que México reabra el proceso de otorgamiento de nuevas concesiones para permitir a todas las empresas invertir sus recursos en el país.

VI. Conclusiones

El aprovechamiento sostenible de estos recursos puede consolidar a México como un actor clave en la producción de minerales críticos, contribuyendo tanto al crecimiento económico nacional como a la transición hacia energías renovables. Sin embargo, para maximizar este potencial, es imprescindible promover políticas públicas que impulsen la innovación tecnológica, fortalezcan la gestión ambiental y atraigan inversiones extranjeras, garantizando una minería responsable y competitiva. A futuro, la explotación de los yacimientos ubicados en cuencas sedimentarias no solo representa una oportunidad para diversificar la economía mexicana, sino también un desafío para equilibrar el desarrollo económico con la protección ambiental y el bienestar social. Este equilibrio será clave para garantizar que los beneficios de la minería se traduzcan en prosperidad para las comunidades y en un impacto positivo duradero para el país.

VII. Autoevaluación

Instrucciones. Lea atentamente cada una de las cuestiones siguientes y conteste brevemente.

1. ¿Cuántos proyectos mineros existen en México?
 - a) 985
 - b) 1,218
 - c) 1,503
 - d) 1,100
2. ¿En qué etapas se divide una operación minera?
 - a) Exploración, desarrollo, explotación, beneficio, cierre y poscierre.
 - b) Exploración, extracción, distribución, reciclaje y poscierre.
 - c) Planificación, ejecución, producción, mantenimiento, cierre y monitoreo.
 - d) Descubrimiento, perforación, refinación, distribución y cierre.
3. ¿Qué es un yacimiento mineral?
 - a) Son acumulaciones de una o más sustancias útiles que en su mayoría están distribuidos en la corteza exterior de la Tierra.
 - b) Son formaciones rocosas sin valor económico ni mineralógico.
 - c) Son depósitos de minerales que se encuentran únicamente en el núcleo de la Tierra.
 - d) Son zonas donde se extrae agua subterránea para uso agrícola.
4. ¿Qué es una mena mineral?
 - a) Son capas de roca que se encuentran en la superficie terrestre sin valor económico.
 - b) Son formaciones geológicas que no contienen minerales valiosos para la industria.
 - c) Son depósitos de metales exclusivamente preciosos, como el oro y la plata.
 - d) Son la fuente primaria de los metales y otros elementos útiles para la industria, representan la parte valiosa del yacimiento.
5. ¿Qué es una ganga mineral?

- a) Los minerales valiosos que se extraen junto con la mena.
 - b) Los minerales que acompañan a la mena, pero no presentan interés económico en el momento de la explotación.
 - c) Los restos de la mena después de la extracción de los metales útiles.
 - d) Los minerales que contienen únicamente metales preciosos.
6. ¿Qué elementos se pueden extraer de la estannita?
- a) Hierro y níquel
 - b) Cobre y plata
 - c) Plata y plomo
 - d) Cobre y estaño
7. Son minerales de Zinc.
- a) Blenda, smithsonita, hemimorfita, cincita
 - b) Galena, calcopirita, magnetita, cinabrio
 - c) Pirita, malaquita, magnetita, fluorita
 - d) Halita, cuarzo, bauxita, esfalerita
8. ¿Qué factores influyen en la viabilidad económica de un proyecto minero?
- a) La cantidad de personal contratado y la infraestructura tecnológica utilizada en el procesamiento del mineral.
 - b) La calidad del mineral y las políticas ambientales vigentes en el país de extracción.
 - c) La cantidad y precio del metal, costos asociados con la extracción, procesamiento, transporte y venta del producto.
 - d) Los costos de exportación del mineral, las normativas laborales y la disponibilidad de agua en la región.
9. Según el método tradicional de clasificación de recursos y reservas, estas se dividen en...
- a) Explorados, medidos, estimados y calculados
 - b) Identificados, evaluados, desarrollados y agotados
 - c) Desarrollados, probados, probables y posibles
 - d) Encontrados, estimados, confirmados y agotados

10. ¿Qué es el beneficio de minerales?
- a) El proceso de identificar minerales valiosos en una región geológica.
 - b) La técnica para determinar la calidad de los minerales en el yacimiento.
 - c) La evaluación económica de los recursos minerales disponibles en una mina.
 - d) La ciencia de separar los minerales metálicos y no metálicos valiosos de los minerales de ganga que no representan ningún valor económico.
11. El beneficio de minerales se realiza en dos etapas esenciales que son...
- a) Extracción y refinación
 - b) Trituración y molienda
 - c) Liberación y concentración
 - d) Separación y purificación
12. ¿Cuántos proyectos activos existen dentro de las cuencas sedimentarias?
- a) 73
 - b) 89
 - c) 102
 - d) 57
13. ¿En cuantas regiones mineras se divide el estado de Chihuahua?
- a) 8
 - b) 10
 - c) 14
 - d) 12
14. ¿Cuáles son las dos únicas regiones mineras que se encuentran ubicadas dentro de la cuenca de Veracruz?
- a) Zonajáltipan y Azufre del Istmo
 - b) Chichonal y San Andrés
 - c) Los Altos y San Luis
 - d) Veracruz Norte y Veracruz Sur
15. ¿Qué elemento se puede extraer del proyecto “Planta Geotérmica Cerro Prieto”?
- a) Azufre
 - b) Litio

- c) Oro
 - d) Tierras raras
16. ¿Cuántos sectores productivos abastece la minería?
- a) 50
 - b) 70
 - c) 85
 - d) 65
17. ¿Cuáles son los 5 elementos que aportan la mayor parte de la producción minero-metalúrgica a nivel nacional?
- a) Cobalto, níquel, plomo, bauxita, manganeso
 - b) Oro, plata, cobre, zinc, hierro
 - c) Titanio, boro, uranio, tungsteno, cromo
 - d) Aluminio, litio, molibdeno, mercurio, antimonio
18. ¿Qué elemento ha sido el de mayor interés nacional en los últimos años?
- a) Litio
 - b) Cobre
 - c) Plomo
 - d) Mercurio
19. ¿Cuál es el nombre de la empresa pública encargada de gestionar el Litio en México?
- a) Minera Litio México
 - b) Litio Nacional
 - c) Compañía Mexicana de Litio
 - d) LitioMx
20. ¿Qué efecto directo ha provocado la reducción de inversión extranjera?
- a) La disminución de la producción minera y el cierre de minas.
 - b) El aumento de los costos de extracción y la caída de los precios de los minerales.
 - c) La escasez de recursos minerales y el incremento de la demanda interna.
 - d) El no otorgamiento de nuevas concesiones y el retraso de permisos.

Preguntas abiertas

Instrucciones. Lea atentamente cada una de las cuestiones siguientes y conteste brevemente.

1. ¿En qué métodos se divide la etapa de exploración?
2. Las operaciones mineras se dividen en dos métodos, ¿Cuáles son?
3. ¿Por qué se dice que sin la minería la civilización tal y como la entendemos nunca habría llegado a existir?
4. Explique por qué se dice que no existen dos yacimientos iguales.
5. En la cuenca de Burgos es significativa la extracción de algunos minerales no metálicos, ¿Cuáles son esos minerales?
6. ¿Por qué se dice que la inversión en la industria minera conlleva un alto riesgo?
7. Las energías renovables han surgido como alternativa al combate al calentamiento global y a la reducción de emisiones, pero ¿qué implicaciones traen consigo las energías renovables?
8. ¿Cuáles son las dos formas económicamente viables en las que es posible encontrar el litio?
9. ¿Cuál es el problema con intentar nacionalizar la industria del litio en México?
10. Para qué una mina aporte al desarrollo sostenible, ¿qué aspectos es esencial considerar?

Respuestas las preguntas de opción simple

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1.- a) | 2.- b) | 3.- a) |
| 4.- d) | 5.- b) | 6.- d) |
| 7.- a) | 8.- c) | 9.- c) |
| 10.- d) | 11.- c) | 12.- b) |
| 13.- d) | 14.- a) | 15.- b) |
| 16.- b) | 17.- b) | 18.- a) |
| 19.- d) | 20.- d) | |

Respuestas a las preguntas abiertas

1. Métodos indirectos e indirectos.
2. Subterránea y a cielo abierto.
3. Sin el avance de estas industrias, la civilización tal y como la entendemos nunca habría llegado a existir. Los metales están presentes en todos los ámbitos de nuestra sociedad, se utilizan como parte de productos duraderos y no duraderos, así como en diversas actividades industriales.
4. Cada uno de los yacimientos tiene su propia composición mineralógica, estructura, tamaño y otras características distintivas. Han sido formados a través de una variedad de procesos geológicos.
5. Arena, azufre, basalto, caliza, grava y sal.
6. Porque los riesgos están determinados por incertidumbres geológicas, la competencia técnica, la demanda comercial, la viabilidad económica y, en última instancia, la estabilidad política y la disposición del Gobierno.
7. Debido a que requieren minerales críticos cuya extracción conlleva conflictos socioambientales, violaciones de derechos colectivos y humanos, gracias al aumento de la demanda de minerales críticos.
8. Desde el mineral (rocas pegmatíticas) y a partir de los salares (salmueras).
9. La idea de nacionalizar un sector altamente especializado es prácticamente imposible, ya que implicaría replicar la tecnología y la capacidad productiva de los grandes actores internacionales y requeriría invertir cientos de miles de millones de dólares en su desarrollo.
10. Una planificación más efectiva, el uso de robustas herramientas de gestión ambiental y tecnologías más limpias, la responsabilidad social extendida a todos los grupos de interés, la formación de alianzas para la sostenibilidad y la mejora en la capacitación.

VIII. Bibliografía

- Ammen, C.W., 1997. *Recovery and Refining of Precious Metals*. Kluwer Academic Publisher.
- Aranda, M., Hernández, U., Ortega, V., Miranda, E., Mora, G. (2010). *Provincias Geológicas de México*. Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- Azamar, Aleida (2022). *El litio en México: verdades y mentiras*. Minería en México: panorama social, ambiental y económico, México, SEMARNAT, -UAM-X.
- Bateman, A. M. (1950). *Economic Mineral Deposits* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Cámara Minera de México (CAMIMEX). (2023). *Informe de la Octagésima Sexta Asamblea General Ordinaria de la Cámara Minera de México*.
- Davis, G.R., *Economic Geology*, in *Encyclopedia of Geology*, R.C. Selley, L.R.M. Cocks, and I.R. Plimer, Editors. 2005, Elsevier: Oxford. p. 434-444.
- Dirección General de Desarrollo Minero (2018). *Perfil de Mercado del Litio*. Secretaría de Economía.
- Haldar S. K. (2020). *Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition)*.
- Hernández, L., Ramírez, H., Ávila, F., Carrizales, A. (2020). *Carta Geológico-Minera E13-11 [Mapa]*. Servicio Geológico Mexicano.
- Hilson G, Nayee V. (2002). *Environmental management system implementation in the mining industry: a key to achieving cleaner production*. *International Journal of Mineral Processing* 64(1).
- Industrias Peñoles (2024). *Nuestras operaciones, Metales*. <https://www.penoles.com.mx/nuestras-operaciones/metales.html> (acceso mayo, 2024).
- Marmolejo, M., Garduño-Rivera (2022). *Mining-energy public policy of lithium in Mexico: Tension between nationalism and globalism*.
- Méndez, E. (2020). Titular de Semarnat busca nacionalización de litio. *Excélsior*. [https://www.excelsior.com.mx/nacional/titulardesemarnatbuscanacionalizaciondelitio/1388784#:~:text=\(Semarnat\)%2C%20V%C3%ADctor%20Manuel%20To](https://www.excelsior.com.mx/nacional/titulardesemarnatbuscanacionalizaciondelitio/1388784#:~:text=(Semarnat)%2C%20V%C3%ADctor%20Manuel%20To)

[ledo%20anunci%C3%B3%20que%20est%C3%A1,de%20autos%20el%C3%A9ctricos%E2%80%A6%20con%20explotaci%C3%B3n%20de%20litio](#). (acceso febrero, 2025).

Obaya, Martín & Pascuini, Paulo (2020). *Estudio comparativo de los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia*.

Olivera, Beatriz, Carlos Tornel y Aleida Azamar (2022), *Minerales críticos para la transición energética. Conflictos y alternativas hacia una transformación socioecológica*. Capítulo 1, CDMX, Engenera, Fundación Heinrich Böll y UAM-X.

Rivera, E., De la Treja, M., Miranda, A., Lemus, O., Motolinía, O. (2020). *Carta Geológico-Minera E14-5* [Mapa]. Servicio Geológico Mexicano.

Rodríguez, E. (2023). *La nacionalización mexicana del litio se enfrenta a la falta de capital y la posible corrupción*. Universidad de Navarra.

Servicio Geológico Mexicano (2021a). *Panorama Minero del Estado de Chihuahua*.

Servicio Geológico Mexicano (2021b). *Panorama Minero del Estado de Coahuila*.

Servicio Geológico Mexicano (2021c). *Panorama Minero del Estado de San Luis Potosí*.

Servicio Geológico Mexicano (2021d). *Panorama Minero del Estado de Veracruz*.

Servicio Geológico Mexicano (2021e). *Panorama Minero del Estado de Tamaulipas*.

Servicio Geológico Mexicano (2021f). *Panorama Minero del Estado de Chiapas*.

Servicio Geológico Mexicano (2021g). *Panorama Minero del Estado de Baja California*.

Servicio Geológico Mexicano (2021h). *Panorama Minero del Estado de Baja California Sur*.

Servicio Geológico Mexicano (2021i). *Panorama Minero del Estado de Guerrero*.

Servicio Geológico Mexicano (2024). Banco de Datos del Servicio Geológico Mexicano. <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/> (acceso mayo, 2024).

Suppen N., Carranza M., Huerta M., Hernández M. A (2006). Environmental management and life cycle approaches in the Mexican mining industry. *Journal of Cleaner Production*. 14(12).