



Nuevas fronteras de la minería

Minerales críticos, tecnología y el futuro de la minería

2026





Somos orgullosamente mineros.

Tomo 4. Nuevas fronteras de la minería

Introducción	1
Minerales críticos y tierras raras.....	2
El papel de la minería en la transición energética global	5
Innovación tecnológica y minería 4.0	9
Nuevas fronteras de la minería	14

Colección La minería en México, Tomo 4. Nuevas fronteras de la minería
Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C.
Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta publicación sin la debida autorización de la A.I.M.G.M., A.C. 2026
Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C., Av. del Parque núm. 54, Col. Nápoles Alcaldía Benito Juárez 03810, Ciudad de México. <https://geomin.com.mx>
Edición: Geochekas, <https://chematierra.mx>
Diseño y coordinación de formación: [figura] consultoría editorial, <https://figconsult.com>
Primera edición, 2026, Tiraje: 3.000 piezas. Impreso en los talleres de La Imprenta, Calzada de La Naranja núm. 891, Ampliación San Pedro Xalpa, Azcapotzalco, Ciudad de México.

Introducción

Durante siglos, la minería ha estado ligada a la exploración del subsuelo. A entender qué hay bajo nuestros pies, cómo se forman los minerales y de qué manera pueden aprovecharse. En los tomos anteriores recorrimos ese mundo subterráneo: descubrimos cómo se originan los minerales, por qué sostienen nuestra vida cotidiana y cómo la industria ha evolucionado hacia modelos cada vez más responsables y regulados.

Ahora el horizonte cambia

La pregunta ya no es únicamente cómo se extrae un mineral, sino qué papel juega en el mundo que estamos construyendo. El siglo XXI no se está edificando sólo con concreto y acero, se está construyendo con litio, cobre, silicio, tierras raras y una combinación de elementos que, hasta hace pocas décadas, apenas figuraban en el debate público, como lo son el germanio, el galio y el indio.

El planeta vive una transformación simultánea en tres dimensiones: la transición energética, la digitalización masiva y la competencia geopolítica por recursos estratégicos. En el centro de esas tres fuerzas, silenciosamente, están los minerales.

No hay vehículos eléctricos sin metales conductores.
No hay redes inteligentes sin cobre.
No hay energías renovables sin elementos magnéticos avanzados.
No hay inteligencia artificial sin semiconductores.

La minería dejó de ser únicamente una actividad extractiva para convertirse en un componente estructural de la infraestructura tecnológica global.

Este cuarto tomo cierra la colección *Minería para Todos* mirando hacia adelante. No hacia lo que fue la minería, sino hacia lo que está comenzando a ser: una industria profundamente tecnológica, integrada a la economía digital y pieza clave en la transición energética global.

4.1 Minerales críticos y tierras raras

Hubo un tiempo en que los metales más codiciados eran aquellos que brillaban. El oro como símbolo de riqueza, la plata como moneda, el hierro como columna vertebral de la industria. Hoy la lógica es distinta.

El valor de ciertos minerales ya no sólo depende de su precio en el mercado, sino de su capacidad para sostener tecnologías estratégicas. Así surge el concepto de *mineral crítico*: un recurso cuya ausencia podría frenar sectores enteros de la economía moderna.

Un mineral se considera crítico cuando cumple dos condiciones fundamentales: es indispensable para industrias clave —energía, telecomunicaciones, defensa, manufactura avanzada— y, al mismo tiempo, su suministro es vulnerable, es decir, puede estar comprometido.

Puede estar concentrado en pocos países, depender de procesos de refinación complejos o enfrentar tensiones geopolíticas. La criticidad no es una característica química. Es una condición estratégica.

El U.S. Geological Survey publica listados periódicos de minerales considerados críticos para la economía estadounidense. La Unión Europea y otros bloques económicos hacen lo propio. Aunque las listas cambian según el contexto, suelen incluir litio, cobalto, níquel, grafito, cobre, galio, germanio e indio. Y, de manera constante, un grupo que despierta particular atención: las tierras raras.



Tierras raras: pequeñas en volumen, gigantes en impacto

El término “tierras raras” suele evocar escasez extrema, pero en realidad describe un grupo de 17 elementos químicos con propiedades electrónicas y magnéticas singulares: los lantánidos, junto con el escandio y el itrio.

No son particularmente escasos en la corteza terrestre. Lo que es raro es encontrarlos concentrados en yacimientos explotables y, sobre todo, procesarlos de manera eficiente. Su separación requiere procesos químicos complejos y tecnología especializada.

El neodimio permite fabricar imanes permanentes de alta potencia que hacen posibles motores eléctricos compactos y eficientes. El disprosio mejora la estabilidad térmica de esos imanes. El europio y el terbio aportan propiedades luminiscentes a pantallas y sistemas LED. El lantano participa en baterías híbridas y aplicaciones ópticas.

En un teléfono móvil puede haber apenas miligramos de algunos de estos elementos. Sin ellos, el dispositivo no funcionaría como lo conocemos.

Geología, refinación y geopolítica

La cadena de valor de las tierras raras no termina en la mina. De hecho, la extracción es sólo el inicio.

Después viene la concentración, la separación química, la refinación y la manufactura de componentes de alta precisión. Cada etapa requiere conocimiento técnico, infraestructura y regulaciones ambientales estrictas.

En las últimas décadas, ciertos países desarrollaron una capacidad dominante en refinación y procesamiento, lo que generó una concentración significativa en la cadena global de suministro. Este fenómeno convirtió a las tierras raras en un tema de política industrial y seguridad estratégica.

Diversas economías han comenzado a invertir en diversificación de proveedores, reciclaje y desarrollo de nuevas capacidades de procesamiento. La competencia ya no es por el yacimiento, sino por el control de la cadena tecnológica completa.

México en el mapa estratégico

México es reconocido históricamente por su liderazgo en plata y cobre. Sin embargo, en el contexto actual, estos minerales adquieren una nueva dimensión estratégica.

El cobre, esencial para la electrificación, se convierte en uno de los pilares de la transición energética. La plata, fundamental en contactos fotovoltaicos, conecta directamente con la expansión solar.

El Servicio Geológico Mexicano ha identificado zonas potenciales en recursos asociados a tecnologías emergentes, incluyendo litio y minerales vinculados a tierras raras. Aunque el desarrollo de estos recursos requiere estudios detallados y evaluaciones técnicas rigurosas, su relevancia estratégica es evidente.

México no sólo participa en el mercado tradicional de metales. Forma parte de una red global de suministro que alimenta industrias tecnológicas y energéticas de alcance mundial.

4.2 El papel de la minería en la transición energética global

Durante décadas, la energía fue sinónimo de combustibles fósiles. Carbón para las plantas termoeléctricas. Petróleo para el transporte. Gas natural para la industria y los hogares. El siglo xx se construyó sobre esa base energética.

El siglo xxi está intentando cambiarla.

La transición energética global busca reducir emisiones de gases de efecto invernadero, electrificar procesos industriales y de transporte, e integrar fuentes renovables, como la solar y la eólica. Pero hay un detalle que rara vez ocupa los titulares: esa transición no es abstracta, es profundamente material. Esa materialidad tiene nombre y apellido: minerales.



Los minerales detrás de la energía limpia

Un parque eólico parece ligero cuando se observa desde lejos. Sus torres blancas, con las aspas girando con el viento transmiten la idea de energía limpia y silenciosa. Sin embargo, cada una de esas turbinas contiene cientos de toneladas de acero, toneladas de cobre en su cableado interno y, en algunos diseños, imanes permanentes fabricados con neodimio y disprosio.

Los paneles solares requieren silicio de alta pureza, plata para sus contactos eléctricos y aluminio para sus estructuras.

Los vehículos eléctricos, símbolo de la movilidad del futuro, dependen de baterías de ion-litio que combinan litio, níquel, cobalto, manganeso y grafito.

A diferencia del sistema fósil tradicional —donde el recurso principal es el combustible que se quema—, el sistema renovable es intensivo en infraestructura. Se necesita más material al inicio, aunque menos combustible durante su operación.

La Agencia Internacional de Energía ha señalado que ciertas tecnologías limpias pueden requerir varias veces más minerales por unidad de capacidad instalada que las tecnologías convencionales.

Así, la transición energética no elimina la minería. La desplaza hacia nuevos materiales, la hace más visible y la reconoce como indispensable.



El cobre: el hilo conductor del futuro

Si hubiera que elegir un metal como símbolo de la transición energética, probablemente sería el cobre.

Su conductividad eléctrica lo convierte en pieza esencial para redes eléctricas, motores, transformadores y sistemas de almacenamiento. Un vehículo eléctrico puede contener hasta cuatro veces más cobre que uno de combustión interna. Una red eléctrica renovable necesita mayor capacidad de transmisión que una basada en combustibles fósiles.

México, como productor relevante de cobre, adquiere en este contexto un papel estratégico. La electrificación global aumenta la presión sobre este metal, cuyo suministro depende de proyectos de largo plazo, inversión intensiva y estabilidad regulatoria.



Litio y almacenamiento energético

La intermitencia de la energía solar y eólica plantea un reto técnico: almacenar electricidad cuando se produce en exceso para utilizarla cuando se necesita. Ahí entran las baterías de ion-litio.

El litio no actúa solo; forma parte de una arquitectura química compleja donde intervienen níquel, cobalto, manganeso y grafito. Cada uno cumple una función específica en la estabilidad, densidad energética y vida útil del sistema.

El almacenamiento energético es una condición para que la transición funcione a gran escala. Sin baterías eficientes, las energías renovables no podrían integrarse de manera estable a las redes eléctricas.

El desarrollo de proyectos de litio en distintas regiones del mundo, incluido México, donde el Servicio Geológico Mexicano ejecuta trabajos de prospección para ubicar depósitos de este mineral.

7

La paradoja del cambio climático

Existe una paradoja evidente: para reducir emisiones contaminantes, necesitamos más minería.

La fabricación de infraestructura renovable, vehículos eléctricos y redes inteligentes incrementa la demanda de metales y minerales. La extracción, por definición, implica intervención territorial, consumo de energía y generación de residuos.

El desafío no es menor: ¿cómo acelerar la transición energética sin multiplicar impactos ambientales?

La respuesta no está en condenar la minería, sino en su transformación. La industria avanza hacia procesos más eficientes, uso de energías renovables en sus propias operaciones, reducción de emisiones y gestión ambiental rigurosa, con estricto respeto a la normatividad aplicable. De esta manera, la innovación tecnológica se convierte en aliada tanto de la extracción como de la descarbonización.

Energía para producir energía

Otro elemento poco discutido es que la minería también consume energía. Extraer, triturar, moler, procesar y transportar minerales requiere electricidad y combustibles.

Por ello, varias operaciones en el mundo, incluyendo México, han comenzado a incorporar energía solar y eólica en sus propias actividades. En regiones desérticas, algunas minas operan parcialmente con plantas solares instaladas en sitio. En minería subterránea, la electrificación de equipos reduce emisiones internas y mejora la calidad del aire.

La transición energética no sólo depende de minerales; también exige que la minería reduzca su propia huella de carbono.

4.3 Innovación tecnológica y minería 4.0

Si alguien pudiera visitar una mina moderna sin conocer su historia, probablemente se sorprendería al descubrir que la actividad minera del siglo XXI está totalmente alejada de la imagen tradicional de pico y pala.

Hoy, muchas operaciones mineras funcionan como sistemas tecnológicos complejos donde interactúan sensores, modelos geológicos tridimensionales, algoritmos de inteligencia artificial y maquinaria parcialmente autónoma.

La minería, que durante siglos dependió principalmente de la observación geológica y la experiencia técnica, se ha convertido en una industria intensiva en datos.

La transformación no ocurrió de un día para otro. Es el resultado de décadas de avances en exploración geofísica, informática, telecomunicaciones y automatización industrial. Hoy, estos desarrollos convergen en lo que muchos especialistas llaman **Minería 4.0**, una evolución tecnológica comparable a la llamada cuarta revolución industrial.



Ver el subsuelo antes de perforar

La primera gran transformación ocurre incluso mucho antes de que exista una operación minera.

Explorar el subsuelo siempre ha sido uno de los mayores retos de la geología económica. Los minerales no están visibles en la superficie en la mayoría de los casos, durante mucho tiempo su búsqueda dependió de mapas geológicos, observaciones de campo y perforaciones exploratorias.

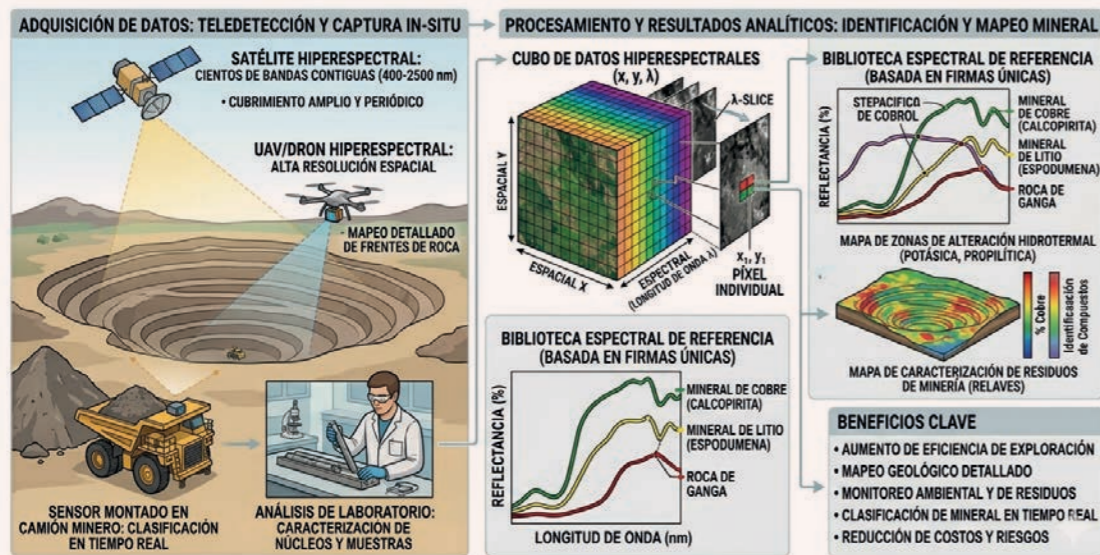
Hoy, la exploración minera utiliza tecnologías que permiten “leer” el subsuelo con un nivel de precisión impensable hace apenas unas décadas.

Entre estas herramientas se encuentran sensores aerogeofísicos instalados en helicópteros, aviones o drones, capaces de detectar variaciones magnéticas, gravitacionales o electromagnéticas asociadas a diferentes tipos de roca. Estas señales permiten identificar estructuras geológicas profundas que podrían albergar depósitos minerales.

La espectrometría hiperespectral, otra tecnología utilizada en exploración, analiza la forma en que los minerales reflejan la luz en distintas longitudes de onda. Cada mineral tiene una “firma espectral” particular, lo que permite reconocer su presencia incluso cuando está mezclado con otros materiales. Estos espectros son tomados de equipos que se instalan en vehículos aéreos por lo que, entre otras ventajas, esta técnica de exploración puede cubrir áreas bastante amplias en poco tiempo.

Los datos generados por estas tecnologías se integran en modelos geológicos tridimensionales, donde geólogos y otros profesionistas pueden visualizar el yacimiento como si estuvieran observando una estructura subterránea en tiempo real.

ESPECTROMETRÍA HIPERESPECTRAL EN MINERÍA



Inteligencia artificial en la geología

La cantidad de información generada por sensores, estudios geológicos y perforaciones exploratorias es enorme.

Durante décadas, interpretar estos datos dependía principalmente de análisis manuales realizados por equipos de geólogos. Hoy, **algoritmos de aprendizaje automático** pueden identificar patrones geológicos complejos dentro de grandes volúmenes de información.

La inteligencia artificial puede analizar simultáneamente:

- registros de perforación
- imágenes satelitales
- mapas geológicos
- datos geoquímicos
- señales geofísicas
- firmas espectrales

Al encontrar correlaciones entre estas variables, los modelos predictivos pueden sugerir zonas con mayor probabilidad de contener mineralización. Esto no reemplaza al geólogo de exploración, le facilita su trabajo, lo complementa.

La inteligencia artificial funciona como una herramienta que amplía la capacidad de análisis humano y reduce la incertidumbre en la exploración.

En un sector donde desarrollar una mina puede requerir inversiones de miles de millones de dólares, mejorar la precisión en la búsqueda de yacimientos es un cambio tecnológico enorme.



Robótica y operación remota

La innovación tecnológica también está transformando la forma en que se opera una mina.

En algunas de las operaciones más avanzadas del mundo, camiones de transporte de cientos de toneladas se desplazan siguiendo rutas programadas por sistemas de navegación satelital y sensores de proximidad. Estos vehículos pueden operar de forma autónoma o semiautónoma, reduciendo riesgos para los trabajadores y optimizando la logística del movimiento de material.

En minería subterránea, equipos robotizados permiten realizar perforaciones o inspecciones en zonas donde las condiciones pueden ser peligrosas para las personas.

Los sistemas de operación remota son otra innovación relevante. En lugar de trabajar directamente en el frente de extracción, algunos operadores controlan maquinaria desde centros de control ubicados a kilómetros de distancia. Grandes pantallas muestran datos en tiempo real sobre producción, estabilidad en obras subterráneas y en taludes de cortes a cielo abierto, ventilación, consumo energético y de agua para los diferentes procesos.

La mina como sistema digital

La digitalización completa de las operaciones mineras es lo que define el concepto de **Minería 4.0**.

En una mina digitalizada, miles de sensores distribuidos en equipos, túneles, plantas de procesamiento y depósitos de residuos generan información constante. Estos sensores registran variables como temperatura, vibraciones, consumo de energía, presión o calidad del aire.

Toda esa información se transmite a plataformas de análisis donde puede ser visualizada y procesada en tiempo real.

Esto permite detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas operativas, anticipar necesidades de mantenimiento y optimizar el uso de recursos.

Una de las aplicaciones más interesantes es el llamado **gemelo digital**. Se trata de un modelo virtual que replica el comportamiento del sistema real. Con él, los ingenieros pueden simular distintos escenarios operativos, evaluar riesgos y mejorar la planificación de la producción.

12

Seguridad, eficiencia y sostenibilidad

La incorporación de tecnología digital no sólo busca aumentar la producción. También tiene impactos importantes en seguridad y sostenibilidad.

La automatización puede reducir la exposición de los trabajadores a condiciones peligrosas. Los sistemas de monitoreo geotécnico detectan cambios en la estabilidad de taludes o túneles. Los sensores ambientales permiten vigilar la calidad del aire y del agua de manera continua.

La optimización de procesos también reduce el consumo energético y el desperdicio de materiales.

En otras palabras, la digitalización no sólo hace más eficiente la minería, también puede hacerla más segura y más responsable.



13

4.4 Nuevas fronteras de la minería

A lo largo de la historia, la minería ha seguido una lógica simple: buscar donde aún no se ha buscado.

Las primeras civilizaciones extraían minerales visibles en la superficie. Con el paso de los siglos, la actividad avanzó hacia minas subterráneas cada vez más profundas. Más tarde llegaron las grandes minas a cielo abierto, capaces de remover millones de toneladas de roca con maquinaria de gran escala.

Hoy, en pleno siglo XXI, la pregunta vuelve a aparecer: ¿dónde están las próximas fronteras de la minería?

La respuesta no apunta necesariamente a profundidades mayores, sino a territorios que hasta hace poco parecían inaccesibles: el fondo de los océanos, los asteroides del sistema solar y nuevas formas de aprovechar los recursos minerales ya conocidos.

Estas ideas aún están en distintas etapas de investigación, exploración o debate científico, pero muestran algo importante: la minería siempre ha evolucionado junto con el conocimiento tecnológico de cada época.



El océano profundo: un territorio poco explorado

Durante mucho tiempo se pensó que los recursos minerales relevantes se encontraban únicamente en los continentes. Sin embargo, la exploración científica del fondo oceánico ha revelado que ciertas zonas del lecho marino contienen concentraciones importantes de metales estratégicos.

Entre los recursos más estudiados se encuentran los **nódulos polimetálicos**, estructuras minerales que se forman lentamente en el fondo marino durante millones de años. Estos nódulos, que pueden parecer piedras oscuras dispersas sobre el sedimento oceánico, contienen elementos como manganeso, níquel, cobre y cobalto.

También existen costras ricas en cobalto, que se desarrollan sobre montes submarinos, y depósitos de sulfuros hidrotermales, asociados a las chimeneas volcánicas del fondo oceánico. Estas formaciones contienen metales como cobre, zinc, oro y plata.

Gran parte de estos recursos se encuentran en zonas internacionales del océano profundo, especialmente en regiones como la llamada *Zona Clarion-Clipperton*, en el océano Pacífico.

Sin embargo, la posibilidad de explotar estos depósitos plantea un debate científico y ambiental complejo.

Los ecosistemas del océano profundo siguen siendo uno de los ambientes menos estudiados del planeta. Muchas especies que habitan esas regiones apenas comienzan a ser documentadas por la ciencia. Por esta razón, investigadores y organismos internacionales discuten cuidadosamente los posibles impactos de cualquier actividad extractiva en estos entornos.

La regulación internacional de estas actividades se encuentra bajo la supervisión de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, organismo creado en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.

En este momento, la minería submarina se encuentra principalmente en fase de investigación y evaluación científica.

Asteroides y minería espacial

Si el fondo del océano representa una frontera extrema, el espacio exterior parece aún más lejano. Sin embargo, desde hace varias décadas, científicos e ingenieros han explorado la posibilidad de aprovechar los recursos minerales presentes en asteroides.

Los asteroides son fragmentos rocosos que orbitan alrededor del Sol. Algunos de ellos contienen cantidades importantes de hierro, níquel y otros metales. En ciertos casos, se estima que podrían existir concentraciones relevantes de elementos del grupo del platino (rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio y platino).

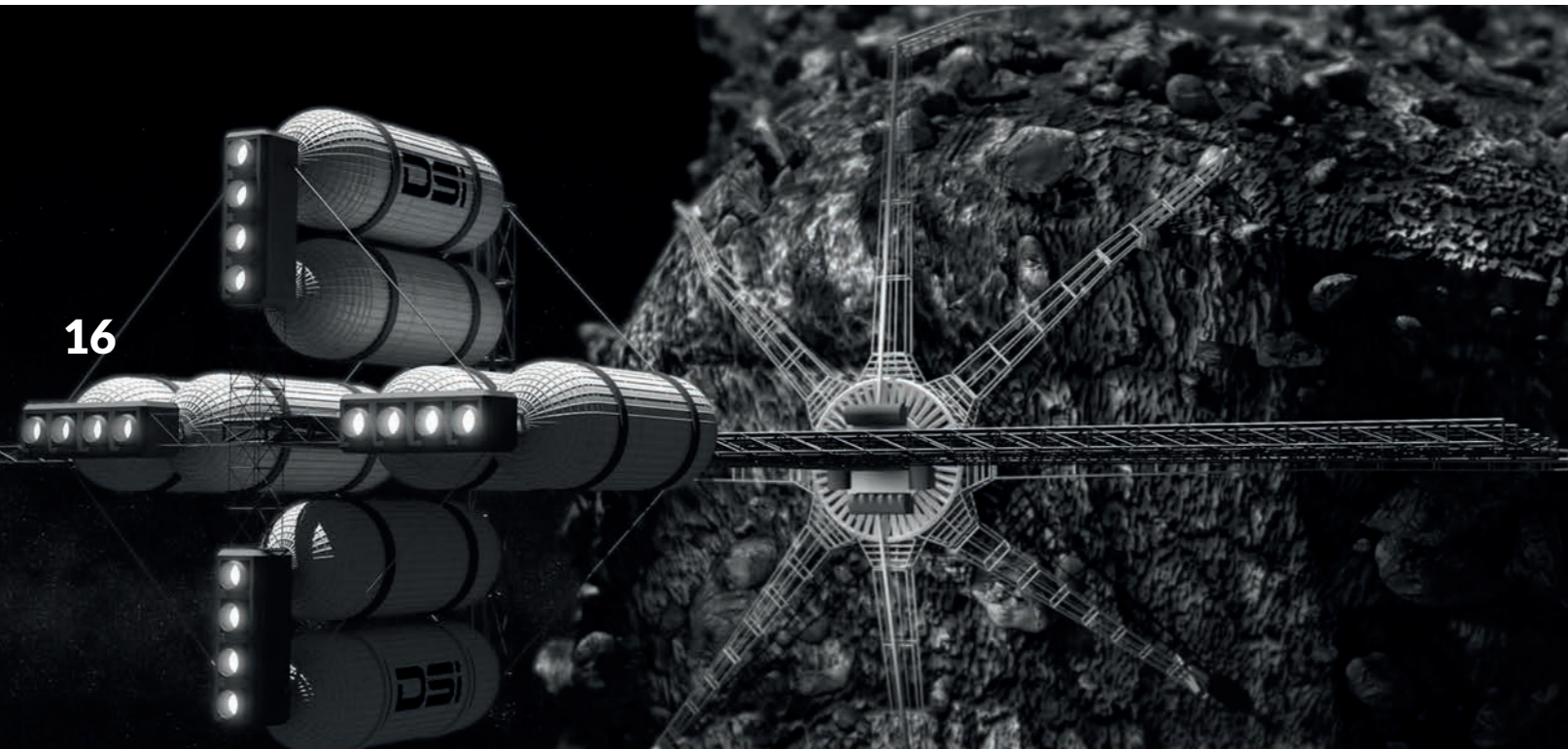
La idea de la minería espacial no es completamente nueva. Desde la década de 1970 se han planteado escenarios en los que los recursos extraterrestres podrían utilizarse para apoyar misiones espaciales o incluso abastecer ciertos materiales en la Tierra.

Sin embargo, los desafíos tecnológicos y económicos son enormes.

Enviar equipos mineros al espacio, operar maquinaria en condiciones de microgravedad y transportar materiales de regreso a la Tierra implica costos extremadamente elevados. Además, el marco legal internacional para la explotación de recursos espaciales aún está en desarrollo.

Por ahora, la minería de asteroides pertenece más al ámbito de la investigación científica, la ingeniería experimental y los proyectos de exploración espacial que al de la industria minera tradicional.

Aun así, el simple hecho de que estas ideas se estudien muestra hasta qué punto la relación entre minería y tecnología continúa evolucionando.



16

Nuevas formas de aprovechar los recursos

Las nuevas fronteras de la minería no se encuentran únicamente en territorios remotos como el fondo del océano o el espacio. También están en una idea cada vez más relevante para la industria moderna: **aprovechar mejor los recursos que ya hemos extraído.**

En este contexto surge el concepto de **economía circular**, un modelo que busca extender la vida útil de los materiales y reincorporarlos al sistema productivo en lugar de desecharlos. Los metales tienen una ventaja notable frente a muchos otros materiales: pueden reciclarse múltiples veces sin perder sus propiedades esenciales.

El cobre reciclado, por ejemplo, conserva prácticamente la misma conductividad que el cobre recién extraído. El aluminio puede reutilizarse con un consumo energético mucho menor que el requerido para producirlo a partir del mineral. Incluso materiales más complejos, como los que forman parte de las baterías de ion-litio, están comenzando a integrarse en cadenas de recuperación y reutilización de minerales estratégicos.

Dentro de este enfoque también surge el concepto de **minería urbana**, que consiste en recuperar metales presentes en dispositivos electrónicos, baterías y residuos tecnológicos. Teléfonos móviles, computadoras, cables y equipos electrónicos contienen pequeñas cantidades de oro, plata, cobre y otros metales valiosos. Aunque cada dispositivo individual contiene apenas miligramos, el volumen global de residuos electrónicos convierte a estos materiales en una fuente relevante de recursos.

Recuperar estos metales mediante procesos de reciclaje permite complementar la producción minera tradicional y reducir la presión sobre nuevos yacimientos. Al mismo tiempo, la investigación tecnológica busca mejorar los procesos de procesamiento de minerales, desarrollando métodos metalúrgicos más eficientes que reduzcan el consumo de energía y agua.

La economía circular no sustituye a la minería primaria —la sociedad seguirá necesitando extraer nuevos recursos del subsuelo—, pero sí puede ayudar a optimizar su uso, prolongar la vida de los materiales y construir un sistema más eficiente para abastecer la demanda mineral del futuro.



17

La minería del futuro

Las nuevas fronteras de la minería muestran que esta actividad sigue evolucionando junto con la ciencia, la ingeniería y las necesidades de la sociedad.

Desde los primeros utensilios de piedra hasta los metales utilizados en satélites, computadoras y sistemas de energía renovable, la historia de la humanidad ha estado profundamente ligada a los recursos minerales.

Hoy, la minería enfrenta desafíos importantes: abastecer la creciente demanda de minerales estratégicos, reducir su huella ambiental y operar bajo estándares cada vez más estrictos.

Al mismo tiempo, la tecnología abre nuevas posibilidades para explorar territorios antes inaccesibles y mejorar la forma en que se gestionan los recursos de la Tierra.

La minería del futuro no se definirá únicamente por lo que se extraiga del subsuelo, sino por el conocimiento científico, la innovación tecnológica y la responsabilidad con la que se utilicen esos recursos.

Entender estas nuevas fronteras permite mirar la minería desde una perspectiva más amplia: no sólo como una actividad económica, sino como una disciplina que conecta geología, ingeniería, tecnología y sostenibilidad.



Bibliografía

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Paris: International Energy Agency.

Cámara Minera de México (CAMIMEX). (2023). *Informe Anual de la Minería Mexicana*. Ciudad de México: CAMIMEX.

International Energy Agency. (2023). *Critical Minerals Market Review*. Paris: IEA.

International Seabed Authority (ISA). (2022). *Deep Sea Minerals and the Future of Seabed Mining*. Kingston, Jamaica.

National Academies of Sciences. (2020). *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. Washington, D.C.: National Academies Press.

Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2023). *Panorama Minero de México*. Pachuca: SGM.

US Geological Survey (USGS). (2024). *Mineral Commodity Summaries 2024*. Washington, D.C.: United States Geological Survey.

US Geological Survey (USGS). (2023). *Critical Minerals of the United States*. Washington, D.C.: USGS.

World Bank. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington, D.C.: World Bank Group.

British Geological Survey (BGS). (2022). *Risk List 2022: Critical Raw Materials*. Nottingham, UK.

Crowson, P. (2019). *Mining Unearthed*. London: Aspermont Publishing.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2021). *Deep-Sea Mining and Marine Ecosystems*.



<https://geomin.com.mx>

