

EXPLORACIÓN “AMIGABLE”

Una revisión de las nuevas tecnologías con que se busca reducir el impacto ambiental y social en esta etapa crucial de la actividad minera.



La minería nacional vive tiempos de “vacas gordas”, con una cotización del precio del cobre que ni siquiera los expertos más optimistas se la esperaban. No obstante, sigue enfrentando “desafíos significativos debido al incremento de la demanda y a la desaceleración en la producción”, expresa el documento “La exploración minera en Chile” (2025) de la Sociedad Nacional de Minería.

Uno de los retos es “fomentar la exploración geológica con un enfoque estratégico”, específica. Esto, considerando que esa actividad minera “tiene un rol clave en la identificación y evaluación de recursos y reservas, siendo esencial para el crecimiento económico y el desarrollo sostenible del país”, señala el texto.

Ahí también se precisa que el proceso de exploración geológica comprende diversas etapas: reconocimiento, prospección, exploración preliminar y avanzada. Además, subraya que factores modificantes como el diseño de la mina, aspectos ambientales, tecnológicos y regulatorios influyen en la transformación de recursos en reservas.

Para dimensionar la magnitud de este tipo de labores, por ejemplo, el proyecto “Sondajes mineros de prefactibilidad Las Tejas”, de Vizcachitas Holding, con locación en la comuna de Putaendo (región de Valparaíso), consiste en actividades de prospección minera mediante la ejecución de hasta 350 sondajes de tipo diamantina y aire reverso, los cuales se efectuarán en 73 plataformas nuevas y 51 plataformas preexistentes, en un período de 48 meses.

Dado su alcance y emplazamiento, la aprobación ambiental de la iniciativa recibió seis reclamaciones —relacionadas con deficiencias en el análisis de eventuales impactos sobre el recurso hídrico, flora, fauna, en particular el gato andino, los sistemas de vida y costumbres de grupo humanos, el valor turístico y el patrimonio cultural, entre otras— que fueron rechazadas por el Segundo Tribunal Ambiental en octubre pasado.

IMPACTOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

Las faenas de exploración minera suelen generar externalidades ambientales negativas como las siguientes:

- Emisiones atmosféricas de material particulado y gases debido a movimiento de tierras y el tránsito de camiones y maquinaria por caminos no pavimentados.
- Emisiones de ruido asociadas al uso de maquinaria pesada para el acondiciona-

miento del terreno y tránsito de vehículos.

- Generación de aguas servidas por parte del personal en obra.
- Producción de residuos sólidos domésticos e industriales, así como de lodos de perforación.

Al respecto, Manuel Viera, presidente de la Cámara Minera de Chile, asegura que “la incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), big data, drones y satélites está revolucionando la forma en que se gestionan los impactos ambientales en la exploración”.



Manuel Viera plantea que las nuevas tecnologías “están revolucionando la forma en que se gestionan los impactos ambientales en la exploración”.

En concreto, plantea que la IA y el big data “permiten procesar volúmenes masivos de información, lo que reduce el impacto ambiental y la intervención de ecosistemas al acotarse campañas extensas en terreno. Y con la digitalización se monitorean variables ambientales en tiempo real, lo que ayuda a ajustar las operaciones sin detenerlas. Por ejemplo, sensores integrados en equipos registran emisiones, vibraciones y niveles de ruido”.

Agrega que en la actualidad se están implementando programas de restauración de hábitats y monitoreo hidrológico de largo plazo para proteger la biodiversidad. Además, los residuos sólidos se convierten en materia prima para la construcción o la industria química, reduciéndose así su acumulación.

En el mismo sentido, la Dra. Diana Comte, investigadora titular del Advanced Mining Technology Center (AMTC) de la Universidad de Chile, sostiene que la “incorporación de IA, big data, drones y satélites está disminuyendo las externalidades ambientales de la exploración porque

permiten intervenir menos y mejor: decidir con mayor precisión dónde vale la pena abrir huellas (caminos, plataformas, sondajes) y luego monitorear remotamente los impactos y riesgos para actuar antes de que escalen. Desde el punto de vista de la tecnología de tomografía sísmica, el cambio es pasar de explorar por prueba y error a hacerlo guiado por imágenes 3D del subsuelo”.

PRINCIPALES BENEFICIOS

Para la especialista, lo anterior se traduce en:

- Menos perturbación superficial: Esto lleva a efectuar menos sondajes, caminos y plataformas. La exploración genera externalidades por huella física (accesos, plataformas y movimiento de suelos), polvo, ruido, biodiversidad y uso de agua asociado a campañas (perforación y obras). Y la tomografía sísmica contribuye a reducirlas porque:
 - Determina estructuras y propiedades en 3D a profundidad antes de perforar, priorizando blancos más probables.
 - En su versión pasiva (ambient noise tomography) puede usar ruido ambiental (viento y actividad humana) para construir modelos 3D sin fuentes activas, lo que reduce la logística, el tránsito y los disturbios.
 - En Chile ya hay evidencia científica de que esta tecnología puede apoyar la identificación de recursos profundos con menor impacto ambiental (precisamente por reducir la exploración “a ciegas”). Estudios basados en tomografía de sismos locales ➔



Para la Dra. Diana Comte, “mejor información en profundidad permite intervenir menos en superficie”.



La exploración moderna tiende a efectuar menos sondajes, caminos y plataformas.

DATO

19% De las reservas mundiales de cobre están en Chile, equivalentes a 190.000 kton (miles de toneladas), las mayores a nivel global. Esto, según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

- se han realizado en distritos como El Abra-Radomiro Tomic-Chuquicamata.
- Menos campañas de terreno (y mejor control): Integración con satélites (InSAR) y drones. En este caso el beneficio ambiental se da en dos capas:
 - Satélites: Vigilancia remota y temprana de deformación (relaves, taludes, subsidencia). El InSAR detecta deformaciones milimétricas y tendencias anómalas, complementando instrumentación in situ y ayudando a anticipar fallas o inestabilidades. En Chile hay trabajos específicamente orientados al uso de DInSAR (InSAR diferencial) para estudiar fallas en depósitos de relaves, mostrando su valor como herramienta de monitoreo. ¿Externalidad reducida? Existe menos probabilidad de eventos catastróficos (liberación masiva de sólidos/aguas, daño ecosistémico) y además menos visitas y campañas solo para “ver si algo cambió”.
 - Drones: Para topografía, volumetría, inspección y monitoreo ambiental focalizado. Permiten levantamientos de

alta resolución (2D/3D, fotogrametría) para planificar accesos mínimos, evitar áreas sensibles y controlar cambios, lo que reduce idas y vueltas de brigadas y vehículos.

- IA + big data: Optimización de decisiones y reducción en el uso de agua y energía. Aunque parte de esto ocurre más en operación que en exploración pura, en la práctica la misma infraestructura digital (sensores + analítica) se ocupa a lo largo del ciclo minero y reduce externalidades relevantes. Por ejemplo, la tomografía, sumando otros sensores y machine learning, son modelos que combinan velocidades Vp/Vs, geología, geoquímica, magnetismo, alteración y teledetección, principalmente, permitiendo clasificar blancos de mayor precisión y justificar programas de perforación más acotados (menos huella).

PROYECTO EN DESARROLLO

A través del proyecto “Estrategias avanzadas para la exploración de depósitos minerales bajo cobertura de gravas”, que desarrolla en conjunto con investigadores de la Universidad Católica del Norte, el AMTC busca aportar a una exploración más sostenible. “Esto ocurre, casi silenciosamente, antes de que la intervención exista. La lógica es simple, aunque sus efectos no lo son: mejor información en profundidad permite intervenir menos en superficie”, expone la Dra. Diana Comte.

Manifiesta, asimismo, que el uso de tomografía sísmica basada en sismología natural, integrada con geoquímica de minerales indicadores, permite construir imágenes 3D del subsuelo bajo las gravas sin recurrir a campañas extensivas ni a fuentes sísmicas activas. “Esto



La nueva broca diamantina Stingray contribuye a reducir el uso de agua.

cambia el paradigma clásico de exploración bajo cobertura –tradicionalmente más invasivo y con alta incertidumbre– por uno donde las decisiones se toman con evidencia previa, reduciendo la necesidad de abrir caminos, plataformas y múltiples sondajes exploratorios”, señala la investigadora.

Añade que, desde el punto de vista ambiental, el impacto es claro, aunque no siempre visible: menos huella física, de movimiento de suelos, de tránsito de maquinaria y de campañas repetitivas. “Además, al focalizar mejor los blancos exploratorios, se evita intervenir áreas de baja probabilidad geológica, muchas veces cercanas a ecosistemas frágiles o zonas de alto valor ambiental”, afirma.

La Cámara Minera de Chile, en tanto, desde su creación ha abogado por “una minería con total respeto al planeta y a los seres vivos que en ella habitan”, asegura Manuel Viera, quien subraya que “una exploración geológica minera debe reducir al máximo la intervención en el terreno y proteger ecosistemas sensibles; optimizar el uso de agua y energía, priorizando fuentes renovables; implementar sistemas de vigilancia ambiental en tiempo real para detectar y mitigar impactos; involucrar, si corresponde, a las comunidades locales en el proceso; y garantizar transparencia en la información”.

DOS INNOVACIONES

Con foco en la eficiencia operativa y la sostenibilidad hídrica, la empresa global de perforación Boart Longyear está introduciendo al mercado chileno y regional su nueva broca diamantina Stingray DHM/Full Face Diamond Bit, desarrollada para operaciones con motor direccional y perforación ciega.

Según la compañía, la broca Stingray representa una herramienta estratégica para empresas contratistas y operadoras que buscan optimizar sus operaciones con mayor velocidad de perforación, durabilidad y menor necesidad de cambios constantes de herramienta, lo que puede traducirse en menor consumo de agua, tiempo de operación e impacto ambiental.

A su vez, Fleet Space puso en el mercado nacional a ExoSphere, una plataforma tecnológica avanzada que utiliza sensores geofísicos conectados a satélites para realizar escaneos profundos del subsuelo, alcanzando hasta siete kilómetros. La firma indica que “la capacidad de obtener modelos tridimensionales del subsuelo en solo algunos días, en vez de meses o años, no solo optimiza el tiempo de exploración, sino que también reduce la huella ambiental de estas actividades”. 