

EXPLORACIÓN MINERA

Geología: el oficio de interpretar la cordillera para encontrar los yacimientos y minerales del futuro

Antes de que exista una mina, hay una hipótesis. Antes de la producción, alguien caminó el cerro con martillo y brújula. En un país que vive de sus recursos minerales, la figura del geólogo/a es tan estratégica como poco visible. Referentes de la especialidad cuentan cómo se combinan ciencia, intuición y riesgo en la búsqueda de nuevas vetas.

En un país que vive del cobre y otros minerales, descubrir nuevos depósitos es clave para el futuro. Cinco expertos explican cómo se construyen esas apuestas de largo plazo. Desde pioneros que recorrieron las montañas a caballo hasta nuevas generaciones que usan modelamiento e inteligencia artificial.

FELIPE LAGOS

"La geología siempre ha sido una forma de pensar; cada cambio de color, cada estructura es una pista"

Para Raymond Jannas, la geología nunca fue solo una profesión. A lo largo de más de cuatro décadas de carrera explorando yacimientos en Los Andes y otras regiones del mundo, para él, es una pasión intelectual permanente, una forma de observar el territorio, interpretar procesos invisibles y atreverse a imaginar lo que aún no se ha descubierto.

"Llegué a la geología casi por accidente. Empecé estudiando ingeniería y, aunque me iba bien, quería algo más libre, más ligado al terreno, menos estructurado. Probé con geología y nunca más me fui".

"Para mí, la geología siempre ha sido una forma de pensar. Cuando uno camina un cerro, lo más importante es observar y pensar. Cada afloramiento, cada cambio de color, cada estructura es una pista. Uno va relacionado lo que ve con lo que sabe de los procesos geológicos e imaginando qué ocurrirá para que ese lugar sea como es".

"Sin duda es una ciencia. Sin entender los procesos no hay interpretación posible. Pero también tiene algo de arte, porque modelar mentalmente lo que no se ve, proyectarlo en profundidad y tomar decisiones con información incompleta requiere intuición".

"El mayor error en exploración es creer que uno tiene la razón definitiva. Los modelos son hipótesis; se prueban, se ajustan, se descartan. He hecho sondeos que no llevaron a nada y otros que tuvieron gran éxito. La clave es no enamorarse. Siempre les decía a mis equipos que los proyectos no son amores, son pasiones. Si no resultan, hay que dejarlos ir. Enamorarse de un modelo te vuelve poco objetivo, apasionante te mantiene alerta".

"La exploración tiene un alto riesgo. Uno vende una idea, consigue recursos y sale a buscar algo que quizás no está ahí. Y, sin embargo, el objetivo no es buscar, es encontrar. Mientras no encuentras, hay una sensación de vacío. Cuando encuentras, te llenas. Pero ahí empieza otro vacío, porque comienza la próxima búsqueda".

"En Chile, la exploración sigue siendo fundamental. Somos un país minero y todavía hay cosas por descubrir, incluso en profundidad. La tecnología ayuda, la inteligencia artificial puede procesar información, pero al final hay que perforar y comprobar. Y siempre hará falta alguien dispuesto a caminar, observar y atreverse a imaginar lo que aún no se ve".

RAYMOND JANNAS GEOLOGO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

- Yacimientos y descubrimientos: Pascual-Lama, El Morro, Cerro Corona (Perú), Choco 10 (Venezuela), Cortadera, Valeriano.
- Lideró descubrimientos que agregaron más de 60 millones de onzas de oro y más de 12 millones de toneladas de cobre a portafolios de recursos.



"Me alegra ver muchas más mujeres en exploración. No fue fácil abrir ese camino, pero la necesidad y el talento terminaron imponiéndose"

Cuando Patricia Narváez comenzó su carrera, en 1967, la exploración minera en Chile era un territorio casi exclusivamente masculino. Durante años fue la única mujer geóloga, trabajando en terreno en campañas de exploración en la cordillera. Por eso, dentro de la comunidad geológica, muchos la consideran una pionera.

"Entré a estudiar geología cuando prácticamente no había mujeres en el rubro. Era otra época. A mí me habría encantado ser detective, pero no aceptaban mujeres. Y la geología, de alguna manera, me ofrecía esa posibilidad: recorrer territorios desconocidos, interpretar señales, reconstruir historias ocultas en las rocas. Y no me equivocué".

"Cuando comencé a trabajar en exploración, a fines de los años sesenta, el mundo minero era eminentemente masculino y, en la gran minería, mayoritariamente extranjero. Durante muchos años fui la única mujer en terreno. Mi realidad era la cordillera, los campamentos, los arrieros y largas travesías a caballo. Aprendí incluso cosas tan básicas como qué tipo de comida llevar a la montaña y cómo preparar una expedición sin alterar a las mulas con latas ruidosas".

"Pero más allá de las anécdotas, lo decisivo fue entender que la exploración exige rigor técnico y una enorme capacidad de observación. El mapeo es fundamental. Caminar, mirar, reconocer estructuras, comprender la relación entre las rocas y los procesos que las formaron. Sin ese trabajo de terreno y estudio, ninguna tecnología posterior tiene sentido. Las herramientas modernas ayudan a procesar datos, pero el hallazgo comienza siempre con el martillo, la lupa y la brújula".

"He visto crecer la minería chilena de manera exponencial. Pasamos de una industria limitada y poco tecnificada a una potencia mundial. Pero seguimos al borde de algo esencial: la exploración de base y el conocimiento geológico del territorio. Un país minero no puede darse el lujo de ignorar su geología".

"Hoy me alegra ver muchas más mujeres en exploración. No fue fácil abrir ese camino, pero la necesidad y el talento terminaron imponiéndose. A las jóvenes les diría que estudien geología con entusiasmo. Es una ciencia fascinante y todavía queda mucho por descubrir".

PATRICIA NARVÁEZ GEOLOGA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE

- Yacimientos y descubrimientos: Andacollo, Pungal, El Indio, San Antonio, Condoraco, Panulillo Delta, Codicada de la Aguada, Amalia.
- Primera geóloga de exploración minera en Chile.
- Fundadora del Colegio de Geólogos de Chile y presidenta de la institución entre 2012 y 2018. Impulsora de la Feria de Exploraciones y Minas (Fexmin) desde 2017.



"El ojo geológico no aparece de la nada; se forma con mentores, con terreno y con experiencia"

Si los geólogos de exploración se dedican a encontrar los yacimientos del futuro, el trabajo de los geólogos de mina comienza cuando el descubrimiento ya está hecho. Durante casi tres décadas en Minería Escondida, de BHP, Walter Véliz se dedicó a interpretar el yacimiento día a día para transformarlo en producción.

"Entré a estudiar geología porque quería entender cómo se formaba la Tierra y la geomorfología. Con el tiempo descubrí que, en Chile, esa pasión inevitablemente se cruzaba con la minería. Y ahí se me abrió un mundo nuevo: los minerales, los cristales, los sistemas de yacimientos".

"Comencé trabajando en yacimientos de oro conocidos como sistemas epitermales. Luego, en 1996, ingresé a Minería Escondida. Venía del mundo del oro y me enfrenté por primera vez a los grandes yacimientos conocidos como pórfidos cupríferos. Era otra escala, otra dimensión geológica. Entendí que la geología es una ciencia rigurosa, pero también una disciplina que se aprende todos los días. Siempre hay alguien que sabe más que tú. La clave es capturar ese conocimiento".

"El 'ojo geológico' no aparece de la nada, se forma con mentores, con terreno y con experiencia. La universidad te enseña a reconocer minerales en muestras ideales. La realidad es mucho más compleja".

"Como geólogo de minas ves que la roca no viene perfecta, está alterada hidrotermalmente, fracturada y mezclada con mineralización de mena y ganga (con y sin valor). Ahí uno aprende a ir al detalle y a entender los distintos procesos mineralógicos que afectan al yacimiento".

"La tecnología ha cambiado de manera exponencial. Pasamos del papel a ingresar información en bases de datos en tiempo real; del dibujo manual al sofisticado modelamiento 3D. Hoy, los yacimientos están más profundos y exigen mayor capacidad técnica. Pero hay algo que no cambia: la necesidad de experiencia y criterio".

"Chile es un país minero por su geología. La zona de subducción y la formación de la cordillera de Los Andes juegan un rol fundamental en la formación de los yacimientos. El geólogo tiene la misión de reconocer ese potencial de mineralización y transformarlo en recursos geológicos para que la planificación minera los convierta en reservas explotables. Sin geología no hay minería".

"A veces, el rol del geólogo es poco visible; se ve la producción, no el proceso previo. Pero detrás de cada tonelada de cobre hay décadas de interpretación, trabajo de terreno y decisiones técnicas. Para mí, más que una profesión, siempre fue un estilo de vida".

"A veces, el rol del geólogo es poco visible; se ve la producción, no el proceso previo. Pero detrás de cada tonelada de cobre hay décadas de interpretación, trabajo de terreno y decisiones técnicas. Para mí, más que una profesión, siempre fue un estilo de vida".

WALTER VÉLIZ GEOLOGO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

- Gerente de Geología de Minería Escondida (BHP) durante 17 años. Responsable del proceso de perforación que permitió ubicar y rescatar a los 33 mineros de la mina San José en 2010. Reconocido por el Colegio de Geólogos de Chile por su aporte a la comunidad geológica (2021).



"No puedes casarte con un modelo. Vas al cerro, levantas información, construyes una hipótesis y la contrastas. Si no funciona, la cambias"

A diferencia de otros geólogos que desarrollan su carrera en distritos ya conocidos, Andrea Aravena ha dedicado buena parte de su trabajo a la exploración en etapas tempranas, cuando aún no existe un yacimiento definido y todo parte con una hipótesis geológica. En esa génesis, cuando hay más incertidumbre que certezas, comienza el trabajo más desafiante de la exploración.

"Siempre me gustaron los volcanes, la geografía, estar en terreno. En el colegio me atraía la química, pero un día escuché hablar a un geólogo en una actividad universitaria y algo hizo clic. Descubrí que era una carrera completa, que combinaba matemática, física, química, biología y, sobre todo, contacto directo con la naturaleza".

"Comencé trabajando en exploración dentro de minas, en proyectos ya avanzados. Pero sentía que me faltaba partir desde cero. Quería vivir el proceso completo, desde identificar un blanco inicial hasta, eventualmente, ver nacer una mina".

"Por eso di el salto a la exploración *greenfield*. Y ahí entendí la verdadera dimensión del riesgo. Explorar es tomar decisiones estratégicas con presupuestos limitados y bajo la presión de ciclos de precio del cobre que suben y bajan. Cuando el precio cae, lo primero que se recorta es la exploración. Por eso hay que ser muy eficiente, priorizar bien y avanzar rápido".

"El 'ojo geológico' se entrena con terreno, observación y lectura. No puedes casarte con un modelo. Vas al cerro, levantas información, construyes una hipótesis y luego la contrastas. Si no funciona, la cambias".

"Hoy tenemos modelamiento 3D, escaneo de testigos, drones e inteligencia artificial que integran grandes volúmenes de datos. Eso hace el proceso más eficiente. Pero nada reemplaza al geólogo describiendo una muestra de roca y entendiendo el contexto geológico".

"En Chile hemos avanzado tecnológicamente, pero siento que hemos dejado de explorar *greenfield*. Hay muchas expansiones de yacimientos conocidos, pero pocos descubrimientos realmente nuevos. Y sin exploración hoy, no hay minas mañana".

"Cuando comencé en terreno éramos muy pocas mujeres. A veces era la única en el equipo. Hoy, eso ha cambiado, aunque todavía somos minoría en exploración. A las jóvenes les diría que no tengan miedo. Es un trabajo fascinante y profundamente relevante para el desarrollo del país. Porque antes de que exista una mina, alguien tuvo que atreverse a imaginarla".

ANDREA ARAVENA GEOLOGA DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

- Yacimientos y descubrimientos: La Verde, Productora, El Fuego, Cortadera (Chile). VP de Exploraciones de la minera australiana Hot Chili Limited. Lideró el desarrollo del proyecto cuprífero Costa Fuego, uno de los nuevos distritos de cobre emergentes en Chile.



"La exploración debe mantenerse en el centro de la estrategia. Sin nuevos recursos, no hay minería futura"

En sus más de cuatro décadas dedicadas a la exploración, Ángelo Aguilar ha participado en el descubrimiento y desarrollo de varios yacimientos en América Latina. Hoy, desde su rol en Codelco, considera que explorar es interpretar señales geológicas muchas veces invisibles y convertirlas en modelos capaces de orientar decisiones de inversión de alto riesgo.

"Para un geólogo de exploración, el terreno es esencial. Es ahí donde uno aprende a entender el lenguaje de las rocas, su génesis, las transformaciones que han sufrido y las señales, muchas veces sutiles, que pueden indicar la presencia de un depósito mineral".

"La universidad entrega bases sólidas, pero es la experiencia la que forma el criterio. Muchas veces, solo una lupa y años de observación permiten identificar indicios que a otros les pasarían inadvertidos".

"En las últimas décadas hemos visto un salto tecnológico enorme. Hoy tenemos modelamiento 3D, integración de información geológica, geotécnica y geofísica, además de herramientas que permiten procesar grandes volúmenes de datos. Todo eso ayuda a tomar decisiones mejor informadas. Pero esas capas de información no se interpretan solas. El conocimiento experto sigue siendo insustituible. La tecnología es una herramienta, pero el modelo conceptual lo construye el geólogo".

"Hoy, el desafío es mayor. Los descubrimientos tienden a ser más profundos, en entornos geológicamente complejos y cubiertos. Eso implica mayores costos y una interpretación mucho más fina de la información indirecta".

"En etapas tempranas, las compañías toman decisiones de inversión de millones de dólares basadas en los modelos que prepara el equipo de exploración. Esa responsabilidad es enorme. En una empresa como Codelco, con más de cien años de historia productiva en algunos distritos, el conocimiento acumulado es un activo estratégico. Actualizar permanentemente los modelos geológicos permite identificar extensiones profundas o nuevos cuerpos dentro de los mismos distritos".

"Chile es un país minero por naturaleza geológica. Y si queremos sostener ese liderazgo, la exploración debe mantenerse en el centro de la estrategia. Sin nuevos recursos, no hay minería futura".

ÁNGELO AGUILAR GEOLOGO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

- Yacimientos y descubrimientos: Gabriela Mistral, La Copa, Opache, Boa Esperanza, (Brasil), Flobar (México), Lurmagua (Ecuador), Volcán Copiapó.
- Director Corporativo de Exploraciones Nacionales Sur e Internacionales de Codelco.

