



## MINERÍA SUSTENTABLE

# ESTALLIDO DE SEGURIDAD

Asumiendo que el accidente fatal en Codelco El Teniente lo causó un estallido de rocas, especialistas aportan recomendaciones para mejorar la seguridad laboral en la minería subterránea.





## MINERÍA SUSTENTABLE

Los números son duros, pero a la vez decisivos: entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de julio de 2025, un total de 202 trabajadores mineros, en 181 accidentes, fallecieron golpeados por rocas, la principal causa de muerte en el sector con un 31% de los casos.

Dentro de esa cifra están los 6 mineros de la división El Teniente de Codelco que perdieron la vida, el pasado 31 de julio, mientras cumplían labores en el subnivel de ventilación del proyecto Andes Norte de la faena cuprífera (a unos 900 metros de profundidad) debido, presuntamente, a un “estallido de rocas” derivado de un sismo (de 4,2°, según el Centro Sismológico Nacional) o viceversa.

En marzo de 1990 otros 6 trabajadores de El Teniente murieron por una razón similar, mientras que julio de 2023 un evento de las mismas características afectó también a Andes Norte, pero sin consecuencias fatales.

El trágico suceso de hace unas semanas motivó al presidente ejecutivo de Codelco, Máximo Pacheco, a anunciar que se encargaría “una auditoría internacional con los mejores expertos para determinar qué hicimos mal”, proceso que ya se puso en marcha. Y también gatilló la salida del gerente general de la división, Andrés Music.

### DATO

**7** Mineros fallecieron golpeados por rocas entre el 1 de enero y 31 de julio de este año en Chile. Una cifra similar de trabajadores del rubro murió por caídas desde altura (3), alcanzados por tronaduras (3) y por impacto de un vehículo motorizado (1), totalizando 14 víctimas fatales en dicho periodo.

### EXPLICACIONES TÉCNICAS

Respecto a cómo se originó el accidente, José Luis Fernández, director de la carrera de Ingeniería en Minas de la Universidad de Las Américas, sostiene que los antecedentes recogidos “apuntan a un estallido de roca, fenómeno geomecánico que ocurre cuando los esfuerzos acumulados en el macizo superan su resistencia. Esta liberación súbita de energía provoca fracturamientos violentos y proyecciones que comprometen la estabilidad de las labores subterráneas, con consecuencias que, como en este caso, resultaron devastadoras”.

Añade que, aunque este tipo de eventos es difícil de predecir, “la experiencia minera demuestra que pueden existir indicios previos: crujidos, grietas visibles, deformaciones estructurales. La pregunta inevitable es si esas señales estuvieron presentes: ¿el cerro avisó? ¿se tomaron medidas oportunas? La investigación en curso deberá esclarecer lo ocurrido y entregar respuestas”.

Juan Rayo, empresario y presidente de Voces Mineras, respalda la hipótesis del estallido, agregando que la liberación de energía se produce “por el desplazamiento de las placas de la corteza terrestre, que también originan los sismos tan frecuentes en nuestro país. La ocurrencia de eventos similares en el pasado en El Teniente, también con víctimas fatales, avalan esta teoría”.

El especialista va más allá: “La minería subterránea profunda tiene desafíos técnicos que hoy están en el umbral del conocimiento y la tecnología, sobre todo de carácter geomecánico y sísmico. Vale decir, a pesar de los avances incorporados, aún no se tienen las certezas técnicas que sí existen en otros campos de la ingeniería. Entendemos y valoramos todos los esfuerzos que Codelco y División El Teniente han realizado, en particular para tratar de simular los procesos geomecánicos de su hundimiento, así como del diseño de labores subterráneas de gran tamaño, pero creemos que aún no se logra una cabal comprensión de los fenómenos de presiones locales extremas, en sectores críticos con roca profunda. Esto incluye la cinética y dinámica de los eventos, dada la ocurrencia de accidentes fatales como el reciente”.

### RECOMENDACIONES

Para José Luis Fernández, cuando el “cerro avisa” sobre la posibilidad de un derrumbe, se pueden adoptar varias medidas preventivas, sobre todo de reforzamiento. Las detalla: “Realizar un análisis geotécnico para identificar debilidades en el macizo rocoso y determinar la estabilidad del terreno, para luego aplicar refuerzos estructurales. También verificar la magnitud de las estructuras geológicas y, por ejemplo, utilizar pernos de fortificación e instalar mallas de acero en áreas propensas a deslizamientos para contener rocas sueltas. No obstante, si se estima necesario o conveniente, hay que reforzar con hormigón armado o implementar soportes para mantener la integridad de las paredes y techo del túnel (dóbelas). Simultánea-



Foto: PDI

Uno de los sectores afectados por el derrumbe en El Teniente.



*"Aunque un estallido de roca es difícil de predecir, la experiencia minera demuestra que pueden existir indicios previos", afirma José Luis Fernández.*

→ mente, si corresponde, se pueden implementar sistemas de drenaje para reducir la presión del agua en el terreno".

Además, considerando que la premisa básica debería ser prevenir la caída de rocas, afirma que "se debe establecer si o sí un sistema de monitoreo constante de las condiciones del terreno, utilizando tecnologías como sensores de movimiento o inclinómetros. Y capacitar a todos los trabajadores respecto a la identificación de señales de advertencia, reforzando la importancia y trascendencia de reportar cualquier anomalía en el terreno".

En la misma línea, Juan Rayo comenta que "se deben redoblar los esfuerzos técnicos y de innovación para poder continuar la explotación de tan importantes recursos minerales, pero prioritariamente asegurando la vida y salud de los trabajadores mineros. Los riesgos geomecánicos de la minería profunda pueden ser mitigados, pero aún no eliminados completamente, si existe una contraparte experta y efectiva, que brinde una asesoría permanente en las definiciones geomecánicas, modelos y análisis de data".

Una recomendación concreta hace Enrique Calderón, jefe de la carrera de Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales de la Universidad Técnica Federico Santa María (sede Viña del Mar): "Es urgente incorporar de manera real y sistémica el enfoque de Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en la planificación minera. La RRD no es un eslogan ni una moda, es un marco que exige identificar amenazas, analizar vulnerabilidades, fortalecer capacidades y generar una cultura de prevención en todos los niveles. Aplicarlo permitiría que las



*Manuel Viera propone crear un instituto de investigaciones de accidentes en faenas mineras que utilice métodos científicos.*

operaciones mineras dejen de actuar de forma reactiva frente al riesgo, y pasen a una gestión integrada que priorice la vida y la sostenibilidad de los territorios".

### SIETE METAS

Frente al desafío de mejorar la seguridad en la minería, Manuel Viera, presidente de la Cámara Minera de Chile, plantea siete propuestas con metas concretas:

- Crear un instituto de investigaciones de accidentes en faenas mineras que utilice métodos científicos.
- Enfrentar la seguridad con enfoque de prevención proactiva en el que "la vida está primero".
- Aplicar masivamente la tecnología digital 4.0 para prevenir accidentes.
- Modernizar y actualizar el reglamento de seguridad minera, aplicando principios de la psicología industrial y las neurociencias para controlar emociones y conductas de los trabajadores del rubro.
- Modernizar las instituciones del Estado encargadas del tema, como Sernageomin.
- Implementar enfoques de producción limpia y cero fatalidad.
- Contar con un equipo de rescate minero de alto nivel, especializado, que dependa del Sernageomin y sea financiado, en parte, con dineros del royalty.

## Fortificación y acuñadura

En el diseño de grandes túneles mineros como los de El Teniente, ¿qué soluciones de fortificación y acuñadura del macizo rocoso se suelen utilizar?, ¿cómo ha sido su evolución a lo largo del tiempo?

José Luis Fernández responde: "Se emplean diversas técnicas de fortificación del macizo rocoso: desde marcos de acero para sostener las labores hasta sistemas permo-malla-shotcrete para estabilizar áreas inestables. En general, las tecnologías de fortificación y acuñadura han evolucionado considerablemente y los materiales usados han mejorado en resistencia y durabilidad, permitiendo que las estructuras sean más seguras y ligeras. Además, se han incorporado sistemas avanzados de monitoreo que, en la práctica, permiten detectar cambios en la estabilidad del terreno en tiempo real, facilitando la toma de decisiones. Por ejemplo, se ocupan softwares de modelado 3D que facilitan el diseño y análisis de túneles, optimizando las soluciones de fortificación".

Añade que la construcción y monitoreo automatizados de estas soluciones "ha incrementado la precisión y seguridad en la ejecución de trabajos mineros, previniendo accidentes derivados de derrumbes".

Como reflexión final, señala que "aunque existen eventos impredecibles en la actividad minera, como estallidos de rocas, sismos y formación de ambientes con atmósferas cuya concentración de polvo y gases son peligrosos, se está avanzando en la construcción de túneles con equipos de transportes teledirigidos o autónomos. Existe, además, una buena reglamentación de seguridad que debe modernizarse acorde a nuestros tiempos. Para eso, se deben aplicar tecnologías de inteligencia artificial, robotización, automatización y monitoreo en línea de los signos vitales de cada trabajador, ya sea propio o contratista, para saber exactamente su ubicación en caso de derrumbe o atrapamiento. Y realizarse auditorías forenses para investigar las causas de los accidentes mortales y frecuentes. Cumplir las regulaciones en la materia en Chile es otro de los focos a tomar en cuenta". **IA**