

Reportaje

Automatización y Digitalización

# Hacia una industria más eficiente, segura y sostenible

La incorporación de tecnologías y el uso intensivo de datos están redefiniendo la operación en faenas, con foco en la continuidad, el control y la reducción de impactos ambientales.

**L**a minería en Chile está viviendo una transformación digital impulsada por la convergencia de varios factores: una mayor capacidad de procesamiento de datos (hardware), mejores herramientas de analítica avanzada, inteligencia artificial y sensorización masiva.

En este escenario, la incorporación de inteligencia artificial y machine learning está llevando la toma de decisiones hacia modelos predictivos y prescriptivos, permitiendo no solo reaccionar ante eventos, sino anticiparlos, y optimizar el desempeño de las operaciones.

Para José Pablo Domínguez, director sponsor Comité Innovación Aprimin “en conjunto, estas capacidades permiten avances significativos en seguridad, cuidado de las personas y mejoras en la eficiencia y productividad de los procesos”. Desde una mirada técnica, la Dra. Cynthia Torres Godoy, directora ejecutiva de Ciptemin, precisa que “la operación continua en minería está siendo impulsada por una convergencia tecnológica que integra automatización, digitalización y capacidades avanzadas de análisis de datos”.

A partir de ello, añade que “estas tecnologías están configurando un nuevo estándar operativo, donde la continuidad se complementa con la capacidad humana y pasa a sustentarse en sistemas interconectados, resilientes y adaptativos”.

### **Operación 24/7**

Especialistas coinciden en que el monitoreo remoto ha sido un habilitador clave para la operación 24/7, al permitir que procesos críticos sean supervisados y gestionados desde centros de control ubicados, incluso, a cientos de kilómetros de una faena.

En este marco, la ejecutiva del Ciptemin asegura que “esto ha permitido desacoplar la operación de las restricciones geográficas y logísticas, optimizando la toma de decisiones en tiempo real y mejorando la seguridad, al reducir la exposición de personas en terreno”. Asimismo, Torres releva que “el monitoreo continuo de variables operacionales ha permitido una mayor estabilidad en la operación, reduciendo la ocurrencia de eventos inesperados y mejorando la capacidad de respuesta ante desviaciones”.

Sin embargo, aún existen brechas importantes. La profesional del Ciptemin detalla que una de las principales es “la interoperabilidad entre sistemas, ya que muchas operaciones siguen operando con plataformas fragmentadas que dificultan una visión integrada. También persisten desafíos en conectividad en zonas remotas, donde la latencia o interrupciones pueden afectar la continuidad del monitoreo”. Ante este escenario, desde Aprimin, Domínguez expone que “tecnologías como la sensorización, drones y las herramientas de control de imágenes permiten un mejor

control de los procesos y una mayor continuidad operativa”. Complementariamente, Cristian Díaz, gerente de Administración y Asuntos Corporativos CNP, comenta que una operación 24/7 “permite ‘ver antes’ y actuar más rápido: detectar desvíos, coordinar respuestas y evitar que un problema chico termine en una detención”.

A modo de ejemplo, Díaz resalta que “en Chile, BHP modernizó su centro de operaciones en Santiago para habilitar mayor operación remota/automatizada y reforzar respaldo y seguridad de datos; lo pendiente suele ser asegurar datos confiables, redundancia y que la información se convierta en acción”.

### **Automatización y continuidad operacional en procesos mineros**

Para la Dra. Cynthia Torres, los mayores avances se han observado en procesos donde la repetitividad, la estandarización y la criticidad operacional permiten capturar rápidamente los beneficios de la automatización.

En particular, la profesional específica que “el carguío y transporte, especialmente con flotas autónomas, ha sido uno de los ámbitos más transformados, logrando operaciones continuas con menor variabilidad y mayor eficiencia en el uso de activos”.

De igual forma, la directora ejecutiva de Ciptemin agrega que “la perforación también ha experimentado avances

CIO Codelco.

significativos, particularmente en sistemas autónomos que permiten ejecutar mallas de perforación con mayor precisión y consistencia, impactando directamente en la calidad del proceso aguas abajo”.

En el caso de las plantas de procesamiento, Torres afirma que la automatización y el control avanzado “han permitido estabilizar variables críticas en molienda y flotación, reduciendo fluctuaciones que tradicionalmente generaban pérdidas de eficiencia o detenciones. Esto es especialmente relevante en un contexto donde las leyes de mineral son más bajas y la complejidad del procesamiento ha aumentado”.

Bajo este escenario, José Pablo Domínguez sostiene que “en general, todos los procesos se han visto beneficiados. En particular, el cuidado de las personas y la eliminación de su exposición al riesgo son probablemente los mayores avances. Todos estos cambios mejoran la seguridad de los procesos y protegen a las personas”. Cabe destacar que, si bien la operación remota de equipos existe desde hace muchos años —y Codelco El Teniente fue pionero en este ámbito—, el vocero de Aprimin destaca que “hoy la convergencia tecnológica permite avanzar de manera más masiva y a costos significativamente más bajos”.

### **Mantenimiento predictivo**

En cuanto a la gestión de ac-



Foto: Gemiliza Schneider Electric

tivos, según releva el gerente de Administración y Asuntos Corporativos del CNP, el mantenimiento predictivo disminuye la posibilidad de detenciones críticas, ya que “busca anticiparse con señales tempranas y planificar la intervención. En la práctica, lo que hace la diferencia es que las alertas sean confiables y que el sitio tenga la rutina para actuar (repuestos, ventanas de mantención, prioridades), algo que suele afinarse probando en terreno”.

En este ámbito, la Dra. Torres añade que, a través de la captura y análisis continuo de datos, es posible identificar patrones de comportamiento que anticipan fallas antes de que estas ocurran. “Esto permite planificar intervenciones de manera oportuna, evitando detenciones no programadas,

que tienen un alto impacto en la continuidad operacional y en los costos. Además, optimiza el uso de recursos, ya que las mantenciones se realizan cuando realmente son necesarias, extendiendo la vida útil de los equipos y reduciendo intervenciones innecesarias”, complementa. En operaciones altamente automatizadas, la vocera de Ciptemin destaca que el mantenimiento predictivo se vuelve aún más crítico, ya que “la detención de un equipo puede tener efectos sistémicos en toda la cadena productiva, y su implementación no solo mejora la confiabilidad de los activos, sino que también fortalece la resiliencia de la operación en su conjunto”.

La visión de Domínguez es que, al mejorar la capacidad

*Inteligencia Artificial en Minería.*

**José Pablo Domínguez:** “A través de herramientas de análisis de datos e inteligencia artificial, es posible generar alertas tempranas y fortalecer la capacidad predictiva”.



De Izq. a Der.:  
 José Pablo Domínguez, director  
 sponsor Comité Innovación  
 Aprimin.  
 Cynthia Torres Godoy, directora  
 ejecutiva de Ciptemin.  
 Cristian Díaz, gerente de  
 Administración y Asuntos  
 Corporativos CNP.  
 Waldo Aracena, gerente de  
 Estudios de CIMS JRI.  
 Cristópher Marchant, gerente  
 de Innovación y Desarrollo  
 en MyMA.

de predicción, se evitan fallas y se incrementan la productividad y la eficiencia en una operación. “Un ejemplo de ello son los gemelos digitales, que permiten simular escenarios de mineralogía, anticipar el comportamiento de equipos y procesos, y predecir puntos de recambio de repuestos, entre otros usos”, comenta el ejecutivo. En esta línea, el representante del Comité de Innovación de Aprimin asegura que “a través de herramientas de análisis de datos e inteligencia artificial, es posible generar alertas tempranas y fortalecer la capacidad predictiva”.

### **Cómo la digitalización contribuye a reducir la huella ambiental**

Expertos advierten que la

digitalización o más precisamente, la democratización y adopción acelerada de nuevas tecnologías, está transformando de manera profunda la forma en que las operaciones mineras entienden, miden y gestionan su impacto ambiental. Históricamente, Cristópher Marchant, gerente de Innovación y Desarrollo en MyMA, precisa que “durante décadas, el monitoreo ambiental en minería estuvo limitado por las restricciones propias de las tecnologías disponibles: estaciones fijas, muestreos y análisis puntuales, datos escasos y de baja frecuencia”. En este contexto, estas limitaciones, según revela el especialista de MyMA “se veían amplificadas por las condiciones propias de las

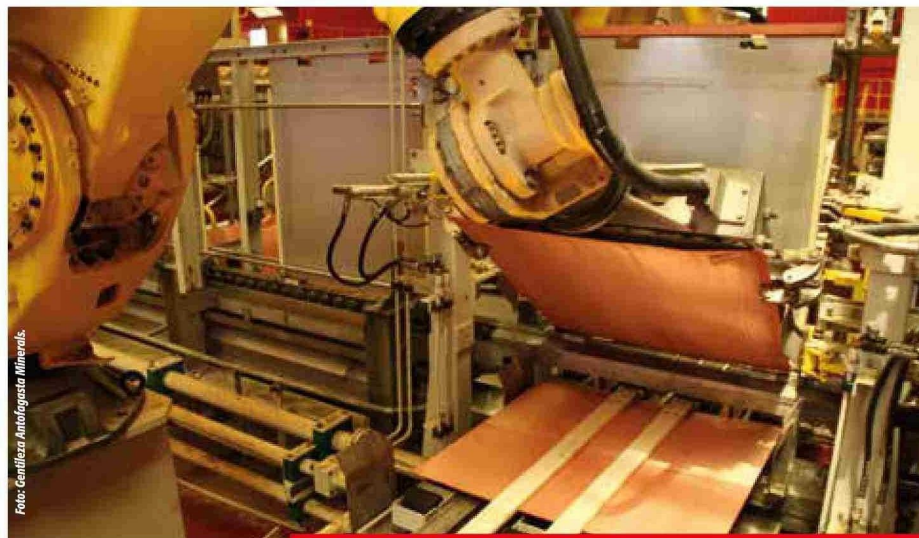
operaciones mineras: emplazadas en su gran mayoría en zonas remotas y de difícil acceso, y abarcando extensas superficies de terreno, lo que hacía prácticamente imposible una caracterización ambiental completa con métodos tradicionales”. Hoy, en cambio, Marchant amplía y dice que “el paradigma de monitorear poco, tarde y desde puntos fijos está siendo reemplazado por una solución tecnológica que se potencia de manera continua, construida sobre tres pilares que se refuerzan mutuamente: la captura de datos; la conectividad; y la inteligencia sobre los datos. La convergencia de estos tres pilares tecnológicos, representativos de la digitalización, está cambiando a velocidad

vertiginosa no solo cómo monitoreamos la huella ambiental, sino también cómo y cuándo tomamos decisiones a partir de esa información”.

En síntesis, el gerente de Innovación y Desarrollo de MyMA advierte que “la digitalización no está contribuyendo solo a medir mejor la huella ambiental de la minería, sino a reducirla, al poner en manos de quienes gestionan operaciones mineras la información correcta, en el momento adecuado y con la resolución espacial y temporal necesaria para tomar decisiones que antes simplemente no eran posibles”.

Sumado a lo anterior, Waldo Aracena, gerente de Estudios de CIMS JRI, plantea que “la digitalización en los procesos mineros está permitiendo pasar de una operación reactiva a una predictiva. Por ejemplo, en el caso de los espesadores de relave, se observa que cada vez más existe instrumentación dedicada al monitoreo de variables críticas, como lo son la concentración de sólidos, el torque o la altura de cama, lo que permite desarrollar modelos que se anticipan a desviaciones antes de que impacten en el proceso”.

De igual manera, Aracena añade que “la digitalización no solo mejora la eficiencia; permite operar con mayor control sobre agua, energía y reactivos, que son justamente los principales componentes de la huella ambiental en procesos de relaves”.



**El rol de la automatización en la disminución de emisiones de los procesos mineros**

Desde la visión del CIMS JRI, “la automatización es el paso siguiente para digitalizar un proceso, y permite que las decisiones operacionales no dependan exclusivamente de ajustes manuales, sino que se basen en análisis sistemático y continuo de datos”.

En esta línea de análisis, Aracena sostiene que la integración de modelos predictivos con plataformas industriales permite avanzar hacia una automatización progresiva basada en evidencia. “Esto no implica reemplazar a las personas, sino fortalecer la toma de decisiones con herramientas que reduzcan variabilidad, optimicen el uso de recursos y, en consecuencia, disminuyan la intensidad energética del proceso”, puntualiza.

Bajo esta misma lógica, Marchant afirma que la automatización permite, ante todo, una mayor eficiencia operacional:

hacer más con menos, optimizar el uso de los recursos y reducir las variabilidades propias de los procesos manuales. “En minería, esta eficiencia tiene una traducción ambiental directa: el uso óptimo del recurso hídrico, flotas de camiones operando a velocidades controladas que generan menos polvo y consumen menos combustible, o procesos funcionando en regímenes estables que evitan peaks de emisión”, cuenta.

En definitiva, el gerente de Innovación y Desarrollo en MyMA concluye que “la automatización reduce emisiones porque cambia la lógica con la que operan los procesos que las generan: de sistemas que funcionan a régimen fijo, independiente de las condiciones del entorno, a sistemas que se ajustan de manera continua en función de la realidad medida en cada momento. Esa capacidad adaptativa es, hoy, uno de los aportes más concretos y medibles de la automatización a la reducción de la huella ambiental de la minería”. **mch**

*Brazo Robótico  
Minera Antucoya.*