



Reportaje

Reportaje central

Hidrometalurgia:

# Herramientas para una minería desafían

Ante los cambios mineralógicos que presentan los yacimientos chilenos, la capacidad instalada de esta tecnología que ha quedado disponible surge como un aliciente a la sostenibilidad del sector.





La producción de cátodos vía hidrometalurgia posee un rol relevante en el desarrollo minero nacional.

Foto: Constanza Clancore.

**L**a hidrometalurgia posee un rol relevante en la historia minera nacional, dada su contribución en materia de producción y el establecimiento de procesos más eficiente.

Esteban Domic, socio de Voces Mineras A.G., considera que “la hidrometalurgia moderna en Chile se manifiesta en forma explícita a partir de 1980 con la puesta en marcha de la Mina Lo Aguirre, de Minera Pudahuel, que fue la primera operación industrial de cobre que hizo uso de las técnicas de aglomeración y lixiviación en pilas (sistema TL) seguido de extracción por solventes y electro-obtención (LX-SX-EW)”.

“Desde el inicio, la patente de Pudahuel permitió el tratamiento simultáneo de minerales oxidados y de sulfuros secundarios de cobre, al combinar las técnicas de lixiviación ácida con el uso de bacterias. Esta exitosa operación permitió contar con una preciosa herramienta tecnológica para apoyar la implementación de numerosos proyectos que, desde los años '90 y bien entrado los 2000, permitieron alcanzar algo más de 2 millones de toneladas anuales de cátodos (40% del total de Cu exportado en esa época)”, recuerda el experto en hidrometalurgia.

Esto es complementado por Constanza Araya, coordinadora de Estudios de Cesco, quien comenta que “la entrada de la producción de cátodos de cobre vía hidrometalurgia

fue clave para el boom de producción que hubo en Chile entre los inicios de los años 90 y comienzos de los 2000. Periodo en que la producción total de cobre en el país subió de 1,8 a 5,3 millones de toneladas de cobre, aumentando casi tres veces”.

“Mientras que la producción de cátodos SX-EW fue de 122 toneladas en 1990 a 1,6 Mt de cobre en 2004, representando un 30% de la producción total. El año 2009 llega a un peak histórico, tanto en participación con un 39%, como en producción con 2,1 Mt de Cu. En ese entonces, además de ser clave en el aumento de producción, también sirvió como un recordatorio importante de las capacidades de innovación y conocimiento que se tenían en Chile”, añade.

### Una transformación

En la visión de Juan Salazar, analista de la Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica de Cochilco, desde la segunda mitad del siglo XX la hidrometalurgia ha transformado la minería del cobre en Chile.

“La incorporación del proceso Heap Leaching SX-EW permitió aprovechar minerales oxidados de baja ley, que previamente eran considerados lastre, incorporándolos a la base de recursos y reservas disponibles. Este método destacó por sus ventajas, como el bajo consumo de energía y agua frente a las concentradoras, así como por su capacidad para procesar minerales

inviabiles mediante métodos pirometalúrgicos”, deja ver. Por otra parte, Constanza Araya da cuenta de que, desde sus inicios, las operaciones hidrometalúrgicas han estado acompañadas de mejoras tecnológicas continuas, lo que ha permitido que estén siempre a la vanguardia. “Primero, abrieron el camino para todos los minerales de más baja ley, porque los costos de operación son comparativamente bajos. Segundo, ocupan una cantidad de agua cercana a la quinta parte de lo que se utiliza habitualmente en la producción de concentrados, y eso ha tenido una repercusión que todavía se mantiene. Tercero, genera un residuo que no es tan complejo de manejar. Y por último, y lo más importante para una empresa, se producen cátodos de alta calidad sin pasar por fundición y refinación, obteniendo una alta rentabilidad debido a los premios que el mercado otorga a este tipo de producto, dado que las impurezas son mínimas y no perjudican el uso posterior del cobre producido”, explica. En tanto, Jorge Saenz-Diez, Practice Lead- Processing Technical Services de Glencore, asevera que uno de los desafíos más relevantes para las plantas de hidrometalurgia existentes es el agotamiento de minerales oxidados y mayor presencia de minerales sulfurados.

“Hoy, gracias a I+D, existen varias alternativas de procesos en el mercado que pueden mejorar las recuperaciones de

Reportaje

Reportaje central



Foto: Camilila Denore



*La industria afronta el reto que implica el agotamiento de los minerales oxidados.*

La incorporación del proceso

**Heap Leaching**  
SX-EW

permitió aprovechar minerales oxidados de baja ley, que previamente eran considerados lastre”, Juan Salazar.

cobre para maximizar el uso de las instalaciones existentes. Por cierto, la viabilidad de cada proceso depende del mineral y de la disponibilidad de capital para posibilitar los mismos”, explica el profesional. Al respecto, Saenz-Diez resalta que “la lixiviación de concentrados puede ser una oportunidad para el desarrollo de proyectos hidrometalúrgicos, considerando la capacidad disponible en Electrowinning en Chile, en conjunto con las mayores exigencias medioambientales. En el pasado, sólo se ha explorado esta opción para procesar concentrados con altos niveles de impureza, como el arsénico, pero con los compromisos adquiridos por la industria en términos de reducción de CO<sub>2</sub> podría hacer sentido en un futuro no muy lejano”.

En ese contexto, expresa que en caso de Lomas Bayas, “la lixiviación de minerales en pila y en ROM son la base del proceso productivo que nos

permite procesar minerales de baja ley con poco consumo de Agua, en comparación con otros procesos. Lomas Bayas cuenta con reservas interesantes que nos permitirán seguir operando en los próximos años de manera competitiva, agregando valor al portafolio de Glencore”.

### Competitividad minera

El profesor Eduardo Balladares, del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción (Udec), comenta que “la transformación de la minería responde a los desafíos presentados por la disminución de las leyes, creciente aumento de impurezas, cada vez más estrictas normativas ambientales, necesidad de desempeño sustentables tanto internas (las propias compañías) como del medio externo (comunidades, sociedad en general) y demanda creciente de materias primas, principalmente”. Al respecto, explica que en la minería del cobre “la hidro-

metalurgia resulta competitiva por la producción de cátodos de cobre a un costo inferior al de la línea convencional de tratamiento de sulfuros, que incluye concentración por flotación, fundición y electro-refinación. Además, los sólidos y soluciones en los procesos hidrometalúrgicos son más simple de manejar y de controlar en comparación a los procesos en que se requiere manejo de pulpas, gases o fases fundidas”. “Estas ventajas hacen atractivo buscar alternativas de tratamiento por esta vía para cualquier tipo de mineral de cobre, con resultados aún insuficientes para cubrir todo el espectro de estos minerales. El desafío reside en la etapa de lixiviación, es decir, pasar el cobre desde el mineral a una solución acuosa, método que puede emplearse desde minerales oxidados, fácilmente lixiviables, hasta sulfuros primarios, muy refractarios a la lixiviación. Mientras más se avance en este desafío, mayor



## Reportaje central

### Reportaje



El sector minero trabaja en el desarrollo de tecnologías para mejorar las recuperaciones de cobre.

va a ser el rol de la Hidrometalurgia en la producción de cobre”, agrega el académico. Esto es complementado por Fernando Parada, profesor de esta misma unidad académica, quien advierte que “un proceso eficiente para la lixiviación de sulfuros primarios y competitivo con la flotación puede no ser suficiente para decidirse por un proceso hidrometalúrgico. La presencia de molibdeno, metales preciosos y otros metales valiosos en el mineral pueden aportar subproductos cuya valorización puede ser significativa. Molibdeno, renio, oro, plata y otros metales preciosos, se recuperan en conjunto con el cobre en el proceso convencional de tratamiento de sulfuros de cobre, situación distinta en el proceso hidrometalúrgico en el cual estos elementos son insolubles y requerirían de procesos adicionales si se quieren recuperar”. En tanto, el profesor Balladares subraya que otro obstáculo para avanzar en



Foto: Camillea Cochile



Foto: Camillea Cochile



Foto: Camillea Cochile

la producción de cobre por vía hidrometalúrgica es “la alta capacidad de fusión de concentrados que existe actualmente en el mundo, de tal forma que la demanda por concentrado ha llevado a que las fundiciones ofrecen cargos por tratamiento extremadamente bajos, incentivando la producción y venta del concentrado”.

“Este mismo factor hace prácticamente imposible que un proceso hidrometalúrgico compita con la fundición –refinería para producir cátodos a partir de concentrados, a menos que se trate de concentrados complejos donde la hidrometalurgia tiene más opciones y con

menos riesgo para el medio ambiente, considerando la separación y estabilización de elementos tóxicos. Una vez que los elementos están en solución, existen una variedad de tecnologías que permiten el tratamiento de minerales complejos por vía hidrometalúrgica, tales como Extracción por Solventes, Intercambio Iónico, métodos selectivos de precipitación química, Adsorción, Electrólisis, cristalización, y otros métodos que han tenido un desarrollo importante debido a al surgimiento de nuevos materiales a costos competitivos, como es el caso de distintos tipos de membranas y otras técnicas”, afirma.

De Izq. a Der.:  
Esteban Domic, socio de Voces Mineras A.G.

Constanza Araya, coordinadora de Estudios de Cesco.

Juan Salazar, analista de la Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica de Cochilco.

Camilo Candia, analista de la Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica de Cochilco.

## Oportunidades

Esteban Domic considera que la capacidad instalada que ha quedado disponible en Chile constituye el actual desafío de la hidrometalurgia para el cobre. “No está demás destacar la menor sensibilidad económica que la hidrometalurgia presenta frente a las cada vez menores leyes del mineral y mayores restricciones ambientales impuestas por la comunidad y la legislación”, añade.

En tanto, Camilo Candia, analista de la Dirección de Evaluación de Inversiones y Gestión Estratégica de Coquimbo, alude al hecho que las operaciones que se han beneficiado de la explotación de minerales oxidados de cobre a través de la vía hidrometalúrgica, dados los agotamientos de estos minerales por la transición mineralógica hacia los sulfuros, “han logrado extender la extracción mediante el tratamiento de sulfuros secundarios, apoyándose en la lixiviación clorurada, mediante adición de salmueras con inversiones marginales, aprovechando las instalaciones de SX-EW disponibles”.

Sin embargo, “el procesamiento de sulfuros primarios, como la calcopirita, continúa enfrentando importantes barreras técnicas y económicas. Por esta razón, su tratamiento sigue dependiendo de la vía tradicional de concentración y fundición-refinación (FURE), dado que actualmente no existe una tecnología hidrometalúrgica con la madurez



Foto: Glencore Chile



Foto: Glencore Chile



Foto: Glencore Chile

tecnológica a nivel industrial que alcance tasas de recuperación y costos competitivos frente a los procesos pirometalúrgicos”, añade.

En ese contexto, Candia menciona que los desarrollos de innovación con mayor prospección están relacionados a “igualar la recuperación de óxidos (cerca al 70%), mediante el uso de temperatura o catalizadores específicos y la optimización de instalaciones existentes, todo ello alineado con las crecientes exigencias ambientales. Empresas de la gran minería lideran investigaciones en este ámbito, explorando tecnologías innovadoras como la lixiviación clorurada con temperatura para el tratamiento de sulfuros primarios”.

## Adaptación y mejora

Esteban Domic comenta que en Chile se han experimentado diversos cambios en la mineralogía de los yacimientos de cobre en explotación, destacando que la hidrometalurgia moderna gradualmente ha ido adaptándose a todos ellos.

“Con una permanente adaptación a las transformaciones que le impone la profundiza-

ción de nuestros yacimientos y la consiguiente baja de las leyes del mineral, la hidrometalurgia ha mantenido su oportuna respuesta tecnológica a estos desafíos de la minería en Chile. En suma, la aplicación de la hidrometalurgia en la minería del cobre en la actualidad proporciona una oportunidad singular: al usar agua de mar, requerir menores inversiones (CAPEX) y costos operacionales (OPEX), producir un producto final de calidad electrolítica y entregar residuos que pueden ser inertes frente a los riesgos sísmicos y ambientales”, menciona el socio de Voces Mineras.

“Los nuevos desafíos en los que se trabaja hoy están puestos en el manejo de impurezas, como el arsénico, y la recuperación de subproductos como el oro, la plata, el cobalto y el molibdeno, simultáneamente con el cobre. Otro campo de oportunidades se presenta en el tratamiento económico de concentrados, como alternativa válida a las fundiciones, para disminuir la creciente dependencia estratégica del país de la exportación de concentrados a fundiciones externas”, suma Domic. **mch**

De Izq. a Der.:

Jorge Saenz-Diez, Practice Lead-Processing Technical Services de Glencore.

Eduardo Balladares, profesor del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción.

Fernando Parada, profesor del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción.