

MARÍA JOSÉ VÁSQUEZ

Chile cuenta con una alta concentración de conocimiento y talento en torno a la minería, que con buenas ideas, financiamiento y alianzas, puede generar tecnologías de clase mundial. Y un actor relevante es la academia, cuyas investigaciones impactan en Chile y el extranjero, además de emprendimientos y startups creados a su alero.

Los desarrollos son múltiples, y muchas las instituciones que están avanzando en la vanguardia de la tecnología e innovación minera.

UNIVERSIDAD DE CHILE

Más de 600 artículos en revistas académicas, 93 licencias de *software* y 13 patentes de invención anota en 15 años el Advanced Mining Technology Center (AMTC), perteneciente a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Gran parte de su trabajo se realiza dentro de esa casa de estudios, pero en los últimos cinco años han reforzado asociaciones con las universidades de Antofagasta (cerca geográfica y disciplinariamente a las labores de minería), de Atacama, UTEM y Mayor, entre otras. Asimismo, han colaborado con universidades extranjeras.

En este contexto nació el proyecto "Hidrógeno natural en Chile: descubriendo las fuentes geológicas para una transición hacia energía verde", que se adjudicó recientemente un fondo de \$383 millones de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), en conjunto con la Universidad Mayor, y que se encuentra en una etapa de exploración y descubrimiento.

Javier Ruiz del Solar, director ejecutivo del AMTC, señala que la exploración de hidrógeno natural es un nuevo paradigma global. Se han descubierto fuentes de este elemento en Francia, Rusia, Mali, EE.UU. y, más recientemente, el año pasado, en el altiplano boliviano, que es donde se desarrollará la investigación. El principal aporte a futuro sería "contribuir a la reducción de emisiones de carbono en Chile y de esta forma estar alineados con el plan de energías limpias a 2050", concluye Ruiz del Solar.

INNOVACIÓN Y DESARROLLO:

Universidades chilenas exhiben importantes investigaciones mineras con foco en la sostenibilidad

De norte a sur del país se desarrollan proyectos que buscan otorgar valor agregado a productos y subproductos obtenidos de la extracción de minerales, así como optimizar y desarrollar nuevos métodos de procesamiento.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

Desarrollar tecnologías avanzadas de reciclaje que permitan recuperar de manera eficiente y sostenible materiales clave como litio, cobalto y níquel desde baterías de litio desechadas, es el objetivo del proyecto "Innovación tecnológica para el reciclaje sostenible de baterías de ion-litio: recuperación de materiales críticos para la seguridad de la transición energética" (ReCLiBs), liderado por la Universidad Católica del Norte (UCN), a través del Centro Lithium I+D+i, con la participación de investigadores de la Universidad de Antofagasta.

"A través de un enfoque de economía circular, buscamos extender el valor de estos recursos al reincorporarlos en nuevos procesos productivos, reduciendo la extracción de materias primas y promoviendo una gestión más sostenible de los materiales críticos necesarios para el desarrollo tecnológico", señala Jaime Chacana, investigador de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas de la UCN.

El proyecto busca alternativas más sostenibles para el reciclaje de elementos como litio, cobalto, níquel, manganeso y grafito, que tradicionalmente funde las baterías a través de métodos como la pirometalurgia (que usa altas temperaturas) y la hidrometalurgia (basada en procesos químicos). "Estamos trabajando

en una lixiviación verde que no utiliza ácidos inorgánicos, y explorando bioprocesos, una solución innovadora y más amigable con el medio ambiente para la lixiviación de cátodos. Además, investigamos el reciclaje directo de cátodos, un enfoque que permite regenerar estos materiales sin descomponerlos por completo, conservando su estructura y reduciendo los costos y el impacto ambiental", señala Chacana.

La idea no es solo separar los materiales, sino también sintetizar otros nuevos que puedan ser reintegrados a la industria, promoviendo un modelo de economía circular.

El proyecto cuenta con financiamiento externo de la ANID y el apoyo de empresas nacionales e instituciones internacionales.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Kofin SpA es una empresa *spin off* de la Universidad de Concepción (UdeC), elegida este año como una de las ganadoras del Sustainable Mining Challenge, iniciativa global del Foro Económico Mundial, a través de su plataforma de innovación abierta UpLink. Es la única entidad chilena seleccionada, e ingresará al grupo de *top innovators* de la comunidad UpLink, con un acompañamiento de tres años que les dará acceso a redes de conexión con fondos de inversión de impacto, así como con inversionistas que buscan tecnologías sostenibles y alineadas con la acción climática.

La startup nació tras el trabajo por más de cuatro décadas del Grupo de Metalurgia Química de la Facultad de Ingeniería de la UdeC, y ofrece una tecnología disruptiva para el procesamiento sustentable de cobre. Opera sin emisiones para eliminar las escorias, produciendo cobre y ácido sulfúrico, además de coproductos de amplio uso industrial, mediante la recuperación del hierro en forma de magnetita o ferroaleaciones, y la generación de productos cementicios.

El proceso utiliza hidrógeno renovable como agente reductor, marcando un cambio revolucionario en la cadena de valor del cobre, y habilitando la creación de un *hub* industrial integrado, desde la mina hasta el procesamiento y refinamiento en un solo lugar, con altos estándares ambientales y trazabilidad completa de la huella de carbono de los productos finales.

Actualmente, la tecnología tiene un nivel de madurez TRL 5 o semipiloto, y muestra ser competitiva tanto en costo de capital como en margen efectivo, comparada con las tecnologías tradicionales de fundición. Ello la convierte en una alternativa sostenible para contribuir a un suministro seguro y diversificado de cobre.

UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

Con siete años de existencia, el proyecto "Observatory of Andean Salt Flats through Interdisciplinary

Studies" (Oasis), de la Universidad del Desarrollo (UDD), busca "comprender los ciclos geoquímicos y bioquímicos de los sistemas hídricos, para entender los procesos que dan origen a las altas concentraciones de litio y otros metales alcalinos. Apunta a conocer más acerca de las formas de vida primitivas que se desarrollan en estos ambientes extremos y evaluar la sustentabilidad de sistemas hídricos mediante el modelamiento espacio-temporal de variables ambientales y meteorológicas", señala Mauricio Calderón, profesor asociado de la carrera de Geología de la UDD y director del proyecto.

La iniciativa partió en 2017, con una investigación que Calderón y otros especialistas de Chile y Brasil realizaron en lagunas alcalinas de la Patagonia. En 2023 se adjudicaron un proyecto de fortalecimiento a la vinculación internacional (FOVI de la ANID), enfocado en el estudio de la mineralogía, hidroquímica y microbiología en los entornos del salar de Maricunga. Este año, fueron seleccionados en el llamado de Proyectos Anillos Temáticos en litio y salares de la ANID.

Junto a la UDD, participan investigadores de las universidades de Atacama, UNAB, de Concepción y la Frontera, además del Centro SMICE-Chile, junto a colaboradores de Brasil, EE.UU., Argentina, Italia y Alemania.

El proyecto se conecta con la Estrategia Nacional del Litio, que apunta a que los proyectos mineros usen

métodos de extracción directa del mineral, es decir, no se utilizará la evaporación de salmueras en piscinas, que si bien aprovecha la radiación solar, se asocia con una pérdida de agua. "Uno de los grandes desafíos es definir cuál será el destino que tendrán las salmueras empobrecidas en litio, después de la extracción del elemento de valor. En este y otros desafíos es donde el aporte del conocimiento científico por parte de la academia puede tener un impacto positivo en la toma de decisiones de empresas e instituciones gubernamentales", señala Calderón. En enero de 2025 comenzarán campañas en terreno en las lagunas Santa Rosa y del Negro Franciso, en Atacama.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

Carlos Carlesi, académico de la Escuela de Ingeniería Química de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), lidera el proyecto "Desarrollo de sistema de separación por membranas inorgánicas para obtención de metales alcalinos puros en solventes iónicos; ampliando la industria de minería no metálica", que busca hacer más sustentable la industria.

La ligereza y resistencia de las aleaciones de aluminio y magnesio son cualidades muy apreciadas en la industria automotriz, sobre todo para la fabricación de partes duras como los chasis de automóviles. El proyecto se centra en la purificación de productos minerales mediante separación por membrana, aprovechando el cloruro de magnesio o bischofita, subproducto minero de la industria del litio que actualmente se acumula en grandes cantidades en el desierto junto a las pozas de evaporación. La idea es darle un uso como materia prima para otras aplicaciones; por ejemplo, "podría aumentar mucho la eficiencia de estos vehículos al hacer más liviana toda su parte más pesada, gracias a estas aleaciones", indica el investigador.

El proyecto está en una etapa intermedia, realizando pruebas de laboratorio para obtener resultados experimentales. La investigación es financiada a través del proyecto INES I+D de un concurso de innovación de la Vicerrectoría de Investigación, Creación e Innovación de la PUCV, que busca resolver desafíos que impacten en la sociedad o problemáticas de interés público y/o privado nacional e internamente.

