Desarrollan nueva metodología para mejorar la estimación de recursos de litio en salares

• *La propuesta aplica por primera vez el método geoestadístico kriging transitivo para estimar la concentración de estratégico mineral en salmueras.*

La creciente demanda de litio, mineral estratégico para la transición energética y el desarrollo de nuevas tecnologías, plantea importantes desafíos para la estimación precisa de los recursos disponibles en los yacimientos. En este contexto, el investigador de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), Jonathan Tapia, propone aplicar por primera vez una metodología geoestadística denominada kriging transitivo para estimar la concentración de litio en las salmueras de un salar, contribuyendo al conocimiento de estos depósitos y al desarrollo de herramientas que permitan evaluar con mayor precisión su potencial.

“Este trabajo propone una metodología geoestadística llamada kriging transitivo, aplicada por primera vez a la estimación de la concentración de litio en salmueras del salar. Para cuantificar las reservas de un depósito se necesita conocer la concentración de litio en todo su volumen, pero solo se dispone de muestras limitadas en los sondajes. La geoestadística permite estimar la concentración en los puntos no muestreados a partir de cómo se relacionan espacialmente los datos”, manifestó Jonathan Tapia, académico de la carrera de Ingeniería Civil de Minas de la PUCV.

Agregó que el enfoque convencional supone que las características estadísticas del litio son homogéneas en todo el depósito y requiere abundantes datos en cada dirección para describir su continuidad. “Por el contrario, el enfoque

transitivo no necesita ese supuesto e incorpora directamente la forma y los límites del depósito en el modelo. En un salar, donde la salmuera ocupa una capa delgada pero muy extensa, permite describir mejor la continuidad del litio y obtener estimaciones más confiables", precisó.

La gran diferencia radica en cómo se analiza la estructura espacial del mineral. Tapia explicó que, en los salares, la salmuera tiene un espesor de unas pocas decenas de metros y una extensión de varios kilómetros. Sostuvo que con tal espesor, existen muy pocos datos en el eje vertical, lo que hace que el método convencional entregue en esa dirección un comportamiento errático y difícil de modelar. En cambio, el enfoque transitivo -afirmó- integra la información sobre todo el espesor del depósito, entregando un comportamiento estable y fácil de interpretar.

"La metodología se aplicó a un depósito de salmuera del Triángulo del Litio, utilizando 332 muestras compuestas provenientes de 60 sondajes. El desempeño se evaluó mediante validación cruzada, comparando cada valor medido con el valor estimado sin usar ese dato, y los resultados fueron publicados en la revista Ore Geology Reviews. Se trata de una validación científica sobre información real, aunque aún no de una adopción formal por parte de la industria", expresó el investigador.

Al evaluar las complejidades del sistema, Tapia señaló que los principales desafíos fueron trabajar con una red de sondajes muy espaciada –de entre 700 y 1000 metros– y con escasos datos verticales. Una segunda dificultad fue que el método requirió conocer con precisión la geometría del depósito. "En este caso, los límites laterales del salar están bien definidos en superficie y los sondajes atraviesan todo el horizonte mineralizado. En depósitos con límites más inciertos, esa ambigüedad puede afectar las estimaciones, algo que también ocurre con los métodos convencionales", destacó.

El siguiente paso para el investigador es avanzar hacia un modelamiento multivariable mediante cokriging transitivo, incorporando progresivamente otras variables al modelo. La primera de ellas es la porosidad drenable que, junto con la concentración de litio, determina la cuantificación del recurso contenido en el depósito. También se proyecta incorporar variables como el magnesio, la densidad y la permeabilidad, con el propósito de comprender mejor los controles físicos, químicos y geológicos que condicionan la distribución del litio.

Adicionalmente, sostuvo que una línea de investigación de especial interés será desarrollar estudios económicos que permitan cuantificar en qué medida las mejoras en la estimación geoestadística se traducen en una evaluación más precisa de los recursos recuperables y de su valor económico. Esto permitiría analizar -enfatizó- el impacto de estas metodologías en la toma de decisiones y en la valoración de proyectos de minería no metálica.

Otra línea de desarrollo será integrar la dimensión temporal, ya que la concentración fluctúa con los ciclos de bombeo y recarga. “Actualmente investigamos la aplicación de este enfoque en otros depósitos que presentan una alta anisotropía geométrica, con potencias reducidas y gran extensión areal, donde los métodos convencionales enfrentan las mismas limitaciones”, enfatizó Tapia.

Cabe recordar que Chile alberga una parte importante del llamado Triángulo del Litio, zona que junto a Argentina y Bolivia concentra más del 60% de los recursos conocidos de este mineral en el mundo. Esto sitúa al país en una posición clave para abastecer la creciente demanda de la industria de baterías y de las tecnologías asociadas a la transición energética global.